

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**СКУЛИШ МАРІЯ АНАТОЛІЇВНА**

УДК 621.391

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ КЕРУВАННЯ ОБСЛУГОВУВАННЯМ ГІБРИДНИХ  
СЕРВІСІВ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ З  
ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ РЕСУРСІВ**

Спеціальність: 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського" Міністерства освіти і науки України на кафедрі інформаційно-телекомунікаційних мереж.

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, професор  
**Глоба Лариса Сергіївна**  
Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського", завідувач кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Климаш Михайло Миколайович**  
Національний університет «Львівська політехніка», завідувач кафедри телекомунікації

доктор технічних наук, професор  
**Кучук Георгій Анатолійович**  
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри обчислювальної техніки та програмування

доктор технічних наук, професор  
**Ложковський Анатолій Григорович**  
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, завідувач кафедри комутаційних систем

Захист відбудеться "18" лютого 2019 р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.14 в Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" за адресою: 03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37, корп. №1, ауд. 255.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" за адресою: 03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий "9" січня 2019 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 26.002.14  
д.т.н., проф.

Л.О. Уривський

**Актуальність теми.** Телекомунікаційна мережа оператора мобільного зв'язку сьогодні – це організована система, яка включає в себе спеціальне обладнання, яке обслуговується, спостерігається та керується з операційних дата центрів, де встановлено обчислювальні сервери та відповідне програмне забезпечення, що обслуговує чисельні інформаційні та службові потоки. Сучасні технології SDN, NFV, SDR, CloudRAN та інші стрімко розвиваються, повномасштабне їх впровадження призведе до повної залежності працездатності телекомунікаційної мережі від роботи інформаційно-обчислювального середовища.

Постачальники послуг тепер віртуалізують частини своєї мережі, що суттєво впливає на рішення для аналізу та оцінки параметрів функціонування, які використовуються для забезпечення роботи мережі. Однією з областей розвитку систем забезпечення якості обслуговування абонентів в умовах часткової віртуалізації систем зв'язку є контроль показників якості на всіх етапах надання сервісів абонентам при використанні як телекомунікаційного обладнання так і обчислювальних систем.

Спостерігається інтеграція телекомунікаційних систем (ТКС) та розподіленого обчислювального середовища, в результаті утворюється єдине гетерогенне середовище обслуговування телекомунікаційних сервісів, в якому є можливість контролювати процес обслуговування інформаційних потоків на кожному етапі та забезпечити відповідність високим стандартам якості. У той же час досі немає єдиної концепції, моделей та методів організації контролю та наскрізного керування, які б враховували особливості розгортання мережі дата центрів, обмеження мережевих інтерфейсів, які їх поєднують, особливості логічної структури віртуальної обчислювальної мережі, яка розгортається поверх фізичної інфраструктури, а також систем оркестрування і організації взаємодії всіх елементів та підсистем, які забезпечують процес надання телекомунікаційних послуг. Це призводить до неефективного використання ресурсів, що утворюють гетерогенне середовище обслуговування телекомунікаційних сервісів.

Особливості розвитку інформаційно-телекомунікаційних мереж:

- У зв'язку зі зближенням індустрії інформаційних та комунікаційних технологій, телекомунікаційна інфраструктура все більше використовує хмарні обчислення. Телекомунікаційні оператори надають хмарні сервіси, а також застосовують технології хмарних обчислень для оптимізації своїх телекомунікаційних платформ та систем підтримки (ITU-T M.3371).

- Спостерігається відсутність зворотного зв'язку між якістю послуг, які надаються, та організацією процесів взаємодії у гетерогенному телекомунікаційному середовищі, як наслідок хаотичне завантаження обчислювальних та телекомунікаційних ресурсів, які забезпечують розподілену гетерогенну систему обслуговування.

- Потреба у гнучких моделях та методах керування якістю обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів, які б використовували переваги

гетерогенного телекомунікаційного середовища та враховували особливості обчислювальних процесів.

Впровадження технологій програмно керованих мереж потребує впровадження нових моделей теорії масового обслуговування для оцінки параметрів функціонування системи, своєчасного виконання обчислювальних операцій для забезпечення потреб ТКС.

Через відсутність методологічної бази для організації роботи гетерогенного телекомунікаційного середовища (ГТС), його ресурси використовуються хаотично, задачі оптимізації вирішені частково або локально, що призводить до погіршення контролю та забезпечення показників якості послуг для кінцевих користувачів. Розроблені в роботі моделі та методи є складовими єдиної архітектури контролю та керування ресурсами і потоками на рівні провайдера мобільного зв'язку.

Таким чином, створення і наукове обґрунтування комплексної методології керування процесом обслуговування у гетерогенному телекомунікаційному середовищі з метою підвищення якості процесу обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів є актуальною науково-технічною проблемою.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалась згідно із планами науково-дослідних робіт кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж КПІ ім. Ігоря Сікорського у рамках держбюджетних тем №2333-п «Мультиагентна система інтеграції інформаційних ресурсів та обробки інформації в розподіленому інформаційно-телекомунікаційному середовищі» (Номер держреєстрації 0110U002415.), №.2418-п «Розробка міждисциплінарного комплексу розподілених обчислень на базі веб-сервісів» (Номер державної реєстрації – 0111U000332), №2619-п «Гетерогенне середовище з динамічною архітектурою для високопродуктивної обробки інформації в розподілених інформаційних системах» (Номер державної реєстрації – 0113U001627), №2861-п «Технологія обробки сервісів з інтеграцією інформаційних ресурсів в системах підтримки операційної діяльності підприємств зв'язку» (Номер державної реєстрації – 0115U000217), №2117-п «Технологія побудови динамічних реєстрів електронних інформаційних ресурсів та засобів їх ефективної обробки у датацентрах гетерогенної структури» (Номер державної реєстрації – 0118U003522) та госпдоговірної роботи: «Розробка системної інфраструктури єдиного інформаційного середовища даних антарктичних досліджень. Оптимізація системи супутникового зв'язку для забезпечення ефективного функціонування антарктичної станції «Академік Вернадський» (Договір №Н/Н-2013-5-08.07.2013).

**Мета і задачі дослідження.** Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої науково-технічної проблеми, пов'язаної з розробкою наукових основ організації взаємодії елементів ТКС та обчислювального середовища, які базуються на систематизації методів керування телекомунікаційними сервісами та процесом їх обслуговування у гетерогенному телекомунікаційному середовищі для забезпечення якісного обслуговування кінцевих користувачів та контрольованого використання обчислювальних ресурсів обслуговування.

Метою дослідження є підвищення якості обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів у гетерогенному телекомунікаційному середовищі за рахунок організації потоків між обслуговуючими сутностями та адаптивного вибору ресурсів обслуговування сервісів.

Для досягнення мети дослідження було поставлено та вирішено такі основні задачі:

1. Проаналізувати особливості функціонування ГТС, визначити фактори впливу на показники якості обслуговування застосованих у його складі технологій віртуалізації мережевих функцій, визначити та систематизувати підходи щодо забезпечення якості обслуговування кінцевих користувачів.

2. Розробити методологію забезпечення якості обслуговування, яка дозволяє керувати процесом обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів у гетерогенному телекомунікаційному середовищі.

3. Розробити принцип обслуговування потоків у ГТС, який забезпечить гнучкість та масштабованість системи керування процесом обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів у ГТС.

4. Запропонувати принцип резервування ресурсів у віртуалізованому середовищі для обслуговування надмірного потоку навантаження на елементи ГТС, який дозволить утримувати незмінними показники якості обслуговування потоків гібридних сервісів при заданій схемі використання ресурсів.

5. Розробити математичну модель пошуку оптимального навантаження на систему обслуговування із раннім виявленням перевантаження, яка дозволить забезпечити обслуговування із заданими показниками QoS, а саме ймовірністю успішного обслуговування, часом обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів та утриманням коефіцієнту використання ресурсів у заданих межах.

6. Розробити математичну модель пошуку оптимального обсягу ресурсу додаткового віртуального вузла обслуговування, який забезпечить якісне обслуговування навантаження із заданими показниками якості обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів.

7. Запропонувати принцип прогнозування обсягу необхідного віртуального ресурсу у хмарі для забезпечення роботи ГТС, який дозволить, використовуючи дані системи моніторингу, розрахувати конфігурації системи обслуговування та розклад їх використання з метою забезпечення показників якості.

8. Розробити метод побудови розкладу вибору конфігурацій на основі довгострокової статистики, який враховує статистичні характеристики потоку гібридних телекомунікаційних сервісів та можливі конфігурації системи обслуговування.

9. Вдосконалити авторегресійний метод із ковзковим математичним очікуванням прогнозування навантаження для контролю достатності ресурсів обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів у ГТС в режимі реального часу.

10. Оцінити роботу запропонованих рішень.

*Об'єктом дослідження* є процес взаємодії гібридних телекомунікаційних сервісів підчас обслуговування кінцевих користувачів у ГТС.

*Предметом дослідження* є моделі, методи, методики та інструменти керування процесом обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів ГТС.

**Методи дослідження.** Основні методи дослідження загальної проблеми – методи теорії систем та мереж масового обслуговування, теорії ймовірності, методи математичної статистики, теорії оптимізації, математичне моделювання фізико-теоретичні основи передачі даних і радіозв'язку, теорії комп'ютерних систем і інформаційно-телекомунікаційних мереж, теорії алгоритмів тощо. За допомогою методів теорії масового обслуговування та теорії ймовірності досліджується вплив дисциплін обробки викликів на роботу системи обробки телекомунікаційних сервісів оператора у гетерогенному хмарному середовищі. За допомогою математичного моделювання проводилася оцінка якості керування обробкою сервісів у комплексі програмно-керованих сутностей телекомунікаційної мережі. За допомогою теорії динамічного програмування та засобів теорії дослідження операцій було розв'язано ряд оптимізаційних задач пошуку найкращої конфігурації мережі.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. Запропоновано методологію керування процесом обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів, яка на відміну від відомих використовує оригінальні принципи, математичні моделі та методи, що у сукупності дозволяють організувати одночасне гнучке керування як потоками сервісів, так і необхідними для цього обчислювальними ресурсами обслуговування (фізичними та хмарними), утворюючи гетерогенне телекомунікаційне середовище, яке гарантує задані показники якості обслуговування.

2. Вдосконалено принцип керування телекомунікаційною системою, який на відміну від принципу SDN-мереж, розміщує у хмарному середовищі як всі функції керування службовим трафіком, так і процеси взаємодії між ними у відповідності до діючих стандартів; передаючи тільки результуючий керівний вплив на фізичні елементи, які здійснюють передавання інформаційних потоків, що зменшує обсяги службового трафіку, який циркулює телекомунікаційною мережею.

3. Вперше запропоновано математичну модель задачі визначення максимально допустимого обсягу навантаження з гарантуванням рівня QoS для вузла обслуговування у гетерогенному телекомунікаційному середовищі, яка враховує ергодичний розподіл кількості заявок, граничну затримку, мінімізує втрати запитів в системі через нестачу обчислювальних ресурсів обслуговування та дозволяє розрахувати верхню межу допустимого навантаження під час планування інтенсивності вхідного потоку для обслуговування на вузлі.

4. Вперше запропоновано математичну модель задачі вибору потужності обслуговуючого пристрою, яка гарантує утримання процесу обслуговування на заданому рівні якості, на відміну від існуючих підходів щодо балансування

навантаження (коли для забезпечення зростаючого навантаження додаються додаткові обслуговуючі пристрої між якими виконується балансування запитів) враховує масштабованість віртуальних обчислювальних ресурсів вузлів обслуговування, що мінімізує кількість обслуговуючих пристроїв та втрати часу на балансування між обслуговуючими сутностями.

5. Запропоновано вперше принцип керування необхідним обсягом віртуального ресурсу у хмарі на основі статистичних даних (довгострокових та короткострокових), який використовує дані системи моніторингу для розрахунку конфігурацій обчислювальних ресурсів обслуговування та розкладу їх використання, періодично контролює достатність обраної конфігурації, забезпечуючи таким чином показники якості, гнучкості та масштабованості системи керування процесом обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів, а також ефективне використання віртуальних та фізичних обчислювальних ресурсів.

6. Запропоновано вперше метод побудови розкладу залучення обчислювальних ресурсів для обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів з заданим рівнем QoS, сутність якого полягає у визначенні тренду зміни обсягів навантаження протягом доби на основі довгострокової статистики за рахунок ітераційної оцінки його статистичних характеристик на інтервалах часу різної довжини, що дозволяє із урахуванням очікуваного навантаження сформулювати розклад зміни конфігурації обчислювальних ресурсів вузла обслуговування на добу, зменшуючи таким чином час на реконфігурацію телекомунікаційної системи.

7. Вдосконалено авторегресійний метод із ковзковим математичним очікуванням за рахунок визначення на основі довгострокової статистики інтервалу аналізу поточних статистичних даних, що забезпечує достовірність прогнозу із заданою ймовірністю та мінімізує кількість точок аналізу, а відповідно й операцій під час перевірки достатності обчислювальних ресурсів у режимі реального часу для обслуговування поточного навантаження в телекомунікаційній системі.

### **Практичне значення одержаних результатів.**

1. Усі теоретичні розробки дисертаційної роботи автором доведено до конкретних архітектурних рішень, протоколів взаємодії та алгоритмів технології керування гібридними сервісами у телекомунікаційних системах нового покоління, які апробовано під час створення гнучких добре масштабованих мереж оператора мобільного зв'язку із повним або частковим застосуванням принципу віртуалізації мережевих функцій, зокрема під час оптимізації роботи мереж телекомунікаційної компанії Lifecell, що дозволило зменшити коефіцієнт простою обчислювальних ресурсів на 15%, уникнути зниження якості обслуговування під час сплесків перевантаження, утримати показники якості обслуговування на заданому рівні.

2. Запропоновано модифікації компонентів підсистеми PCRF (Policy and Charging Rules Function) та нові процедури організації їх взаємодії між собою та з підсистемами керування віртуалізованим середовищем для забезпечення

контролю якості обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів, що дозволило запобігти погіршенню показників QoS на рівні абонентського пристрою кінцевого користувача та зменшити кількість відмов за рахунок скорочення часу реагування підсистеми керування телекомунікаційною та хмарною частинами гетерогенного середовища до 10%.

3. Запропоновану архітектуру телекомунікаційної мережі з віртуалізацією мережевих функцій із забезпеченням контролю якості обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів та керуванням обчислювальними ресурсами ТКС апробовано під час побудови сучасних систем типу SmartCity, M2M, D2D в лабораторіях компанії “Huawei Ukraine”, що дозволило ефективно перерозподіляти навантаження між групою фізичних та віртуальних вузлів обслуговування та покращити коефіцієнт використання обчислювальних ресурсів, а саме зменшити відсоток запитів, які було втрачено через перевищення допустимого часу обслуговування на 5%, зменшити відсотки часу низької завантаженості обчислювальних ресурсів на 8%, а відповідно їх перевантаження на 10%.

4. Запропоновані нові процедури та алгоритми: алгоритм планування обсягу ресурсів ГТС, процедура організації взаємодії підсистем ТКМ та підсистем керування віртуалізованим телекомунікаційним середовищем з забезпеченням контролю якості обслуговування, планування обсягу необхідних обчислювальних ресурсів для ефективної роботи ГТС, які використано в науково-дослідних роботах з розробки перспективних телекомунікаційних систем НДІ телекомунікацій та навчальному процесі кафедри ІТМ Інституту телекомунікаційних систем «КПІ ім. Ігоря Сікорського», результати моделювання запропонованих технічних рішень показали збільшення ймовірності утримання ресурсів обслуговування у заданих межах до 32%.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові результати, що виносяться на захист дисертації, отримані здобувачем самостійно. Автору належить постановка задач досліджень, їх забезпечення, теоретичне обґрунтування, експериментальна перевірка нових моделей, методів та принципів.

У спільних публікаціях за темою дисертації автор зробив внесок, який полягає у формалізації ідей, виборі підходів до реалізації аналізу та узагальненні одержаних результатів. В роботах [1, 7] здобувачем систематизовано методи підвищення якості функціонування гетерогенної телекомунікаційної системи та запропоновано концепцію диференційованого обслуговування у вузлі на границі локальної мережі. В роботах [16-17, 21] здобувачем запропоновано системний підхід до керування системою обслуговування мобільних абонентів, проаналізовано основні проблеми контролю якості комплексної мережі, які пов'язані з залученням додаткових ресурсів для обслуговування абонентів, запропоновано метод контролю якості на основі технології Smart Grid. В роботі [20] здобувачем запропоновано модель керування інфраструктурою NFV, яка враховує особливості розташування дата центрів обслуговування, а також структуру потоків гібридних телекомунікаційних сервісів, які поступають на обслуговування у дата центри.



В [12, 13] автором запропоновано принцип розділення функцій мережі зв'язку між телекомунікаційною та обчислювальною підсистемами, процедури їх взаємодії, а також модель процесу обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів послідовністю мережевих функцій.

В [5] автором запропоновано метод розподілу ресурсів обслуговування пропорційно вимогам сервісів різних типів для забезпечення показників якості обслуговування на заданому рівні В [15, 23] автором запропоновано спосіб керування навантаженням на гетерогенну телекомунікаційну систему, а також математичну модель і спосіб розрахунку оптимального навантаження на сервера системи онлайн тарифікації.

В [22] автором запропоновано спосіб резервування ресурсів у віртуалізованому середовищі для обслуговування надмірного потоку навантаження на елементи гетерогенного телекомунікаційного середовища, а у [14] метод розрахунку необхідних додаткових ресурсів.

В [6, 19] автором розроблено метод динамічного контролю використання ресурсів для забезпечення обслуговування вхідного потоку, критерії оцінки ефективності процесу обслуговування у складному ГТС. В [3] автором розроблено модель аналізу статистичних даних для формування прогнозу необхідних ресурсів на наступний період часу. В [2, 25] автором запропоновано принцип прогнозування необхідного віртуального ресурсу у хмарі, спосіб моніторингу та прогнозування навантаження для забезпечення роботи ГТС. В [26] систематизовано математичні методи, які використовуються при проектуванні та оптимізації сучасних телекомунікаційних систем.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи були представлені, повідомлені й одержали схвалення на Науково-технічних конференціях "Проблеми телекомунікацій" (м. Київ, 2012-2015, 2017pp), IV Міжнародній конференції молодих вчених «Електроніка-2013», VII Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції «РТ-2011» (Севастополь 2011, 2013 р), 20 – 24 Міжнародній конференції «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. Крымико» (м. Севастополь, 2010-2014гг.), International Conference TCSET'2014 (Львів Славсько), 13 і 14 Міжнародній конференції CADSM 2015, 2017 (Lviv–Polyana), IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking 2016, Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo), International Conference. – IEEE, 2016, 2017гг, International Scientific and Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PICS&T-2017), X International symposium on Telecommunications – BIHTEL 2014, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, International Summer School on Latency Control for Internet of Services, 2017, KARLSTAD UNIVERSITY, ШВЕДІЯ.

**Публікації.** Основні положення дисертації, які в достатній мірі висвітлюють результати роботи, що виносяться на захист, опубліковані у 68 наукових працях, у тому числі у 1 монографії, 25 статтях у наукових фахових виданнях (з них 2 статті у виданнях іноземних держав, 5 у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз), 2 патентах на корисну модель,

36 тезах доповідей в збірниках матеріалів конференцій, 4 статтях у інших виданнях.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається із анотацій, вступу, 6 розділів основного змісту, висновків, списку використаних джерел і 2 додатків. Загальний обсяг роботи становить 416 сторінок друкарського тексту, в тому числі список літератури із 219 найменувань і два додатки на 30 сторінках, робота містить ілюстрації та таблиці.

### **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ**

У **Вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи. Визначено мету роботи, основні задачі та методи досліджень. Сформульовано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** проаналізовано особливості функціонування ГТС, визначено фактори впливу на показники якості обслуговування застосованих у його складі технологій віртуалізації мережевих функцій, визначено та систематизовано підходи щодо забезпечення якості обслуговування кінцевих користувачів.

В роботі досліджувалися особливості мобільних мереж зв'язку, а також тенденцій розвитку систем зв'язку, структурні зміни у сервісах, що надаються кінцевим користувачам, еволюційні зміни у системах забезпечення ТКС та зростання впливу обчислювальних систем на роботу телекомунікаційної системи оператора зв'язку.

Сучасні системи зв'язку тісно пов'язані з наступними означеннями наведеними у різних стандартах та специфікаціях:

**Гібридний телекомунікаційний сервіс (ITU-T M.3371 (10/2016))** – сервіс, який складається з компонентів телекомунікацій та хмарних сервісів.

**Хмарні обчислення (Cloud Computing) [ITU-T Y.3500]** – парадигма забезпечення мережевого доступу до масштабованого і гнучкого набору спільно використовуваних фізичних або віртуальних ресурсів з наданням та адмініструванням ресурсів на основі самообслуговування за запитом.

**Вузол обслуговування** (відповідно до ETSI GS NFV 003 (12/2014) – мережева точка присутності (N-PoP) – місце, де мережева функція реалізується як Фізична мережева функція (PNF) або Функція віртуальної мережі (VNF).

**Мережева функція (ETSI GS NFV 003 (12/2014))** – це функціональний блок всередині мережевої інфраструктури, що має чітко визначені зовнішні інтерфейси та чітко визначену функціональну поведінку. На практиці мережева функція сьогодні є мережевим вузлом або фізичним пристроєм.

**Мережеві функції віртуалізації (NFV ETSI GS NFV 003 (12/2014)):** принцип розділення мережевих функцій на апаратне забезпечення, яке вони запускають, використовуючи абстракцію віртуальних апаратних засобів.

**Інфраструктура NFV (ETSI GS NFV 003 (12/2014)):** сукупність всіх апаратних і програмних компонентів, які створюють середовище, в якому розміщені віртуалізовані мережеві функції (Virtual Network Function-VNF).

**NFV-Resource (NFV-Res)** існують всередині інфраструктури NFV та можуть бути використані для реалізації мережевих функцій або систем функцій,

для забезпечення їхньої якості. До них можна віднести VeCPU – віртуальний процесор – ресурс віртуальної машини.

**Компоненти інфраструктури NFV** (ETSI GS NFV 003 (12/2014)): ресурси обладнання, які не є реплікабельними, але сприймаються як фізичні компоненти виготовлені в умовах виробництва.

**Віртуальна машина (VM)** (ETSI GS NFV 003 (12/2014)): віртуальний обчислювальний простір, який характеризується багатьма фізичними компонентами (процесор, пам'ять/сховище даних, порти/інтерфейси) та генеруються за допомогою гіпервізора, який використовує фізичні ресурси та розміщує на них VM. Вони можуть виступати хостингом для окремих компонентів віртуальних машин.

**Віртуальна мережа** (ETSI GS NFV 003 (12/2014)): віртуальна мережа містить інформацію про маршрути віртуальних мережевих інтерфейсів VM та фізичних мережевих інтерфейсів, створюючи необхідну зв'язність. Віртуальна мережа обмежена набором доступних мережевих інтерфейсів.

**Прикладний програмний компонент** (ETSI GS NFV 003 (12/2014)): більш загальний термін для частини програмного забезпечення, що може бути завантажено на віртуальну машину. **Віртуальна мережева функція (VNF)** є прикладом віртуального прикладного програмного компоненту.

**Багатохмарні обчислення ITU-T Y.3511 (03/2014)** – парадигма для взаємодії між двома та більше постачальниками хмарних послуг.

Для уточненого опису середовища, де здійснюється обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів визначимо **гетерогенне телекомунікаційне середовище**, як таке, що є організаційно-технічною сукупністю та складається з каналів зв'язку (фізичних та віртуальних), мережевих вузлів (фізичних та віртуальних) та обчислювального середовища, організованого відповідно до парадигми хмарних обчислень, забезпечує функціонування віртуалізованих телекомунікаційних сутностей.

Забезпечення якості обслуговування кінцевих користувачів мереж зв'язку залежить від контролю якості на всіх етапах надання сервісу. Сьогодні у зв'язку з динамічно змінюваною структурою сервісів, які надаються кінцевим користувачам, постійно змінюваними вимогами до показників якості обслуговування, із зростанням об'ємів трафіків зростає потреба у добре масштабованих системах зв'язку, які б задовольняли потреби кінцевих користувачів.

Мережа мобільного зв'язку сьогодні являє собою складну систему, яка забезпечує не лише доступ до різноманітних сервісів, але й гарантує якість обслуговування на всіх етапах обслуговування end-to-end. Від підсистем мобільного зв'язку очікують виконання когнітивних функцій, пов'язаних як з передачею даних, так і з організацією процесу керування обслуговуванням. Когнітивні функції розгортаються не лише у ядрі, а й на кожному етапі обслуговування, забезпечуючи самоналаштування, оптимізацію, навчання і моніторинг підсистем. На рис. 1 наведено структуру мережі мобільного зв'язку з виділенням місць застосування когнітивних функцій.

Сучасна інфраструктура мобільного оператора зв'язку являє собою складну гетерогенну телекомунікаційно-обчислювальну розподілену в глобальному просторі систему, для надання якісних послуг якою застосовують класичні телекомунікаційні вузли і віртуалізовані обчислювальні вузли, побудовані як розподілені дата-центри оператора зв'язку.

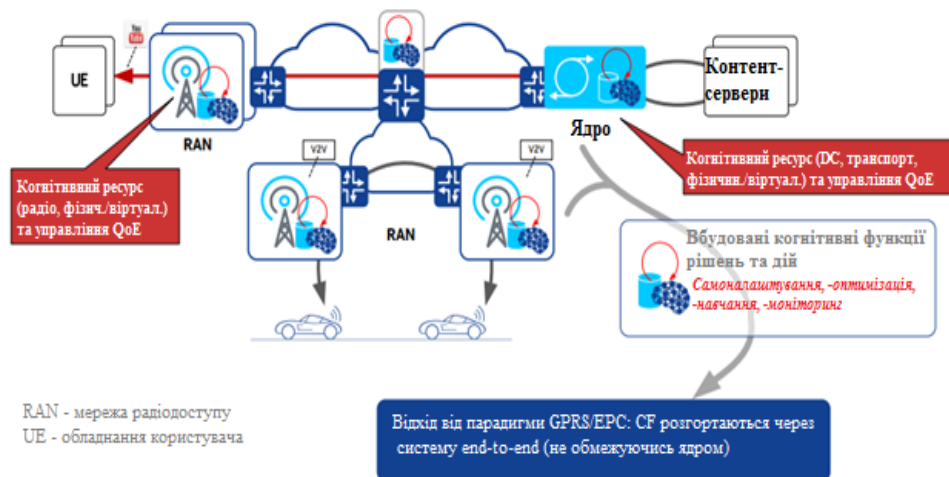


Рисунок 1 – Мережа мобільного оператора зв'язку

У зв'язку із розвитком технологій віртуалізації мережевих функцій, зближенням індустрії інформаційних та комунікаційних технологій, телекомунікаційна інфраструктура все більше використовує хмарні обчислення. Оператори мають надавати хмарні сервіси, а також застосовувати технології хмарних обчислень для оптимізації своїх телекомунікаційних платформ та систем підтримки (ITU-T M.3371).

Якість обслуговування кінцевих користувачів залежить від двох складових: складова яка враховує якість обслуговування у телекомунікаційному обладнанні та якість обслуговування під час обробки гібридних сервісів у системі розподілених дата центрів. Маємо гетерогенне середовище, розташоване у віддаленому дата центрі, яке включає телекомунікаційну мережу і систему обробки інформації.

Для сучасних технологій типу 5G і NGN якість обслуговування користувачів залежить від організації телекомунікаційної мережі і організації обчислювальних ресурсів. У віддалених дата центрах проводиться велика кількість обчислень, які впливають на швидкість передачі інформації в цілому, на її обсяги і на якість передачі.

За умови віртуалізації мережевих функцій, якість обслуговування користувачів телекомунікаційної мережі залежить не лише від організації телекомунікаційної мережі, але й від організації обчислень, та взаємодії між телекомунікаційним та обчислювальним середовищем. Необхідно враховувати гетерогенність середовища, де передача і обробка інформації відбувається зі змінами по відношенню до стандартів LTE. Змінюється система керування: маршрути, канали потоків керування, тому необхідна розробка нової методології, яка б дозволяла все це враховувати.

У зв'язку з цим, виникає потреба у гнучких моделях та методах керування якістю обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів, які надають у ГТС та враховують як фізичні процеси зв'язку, так і обчислювальних процесів в системі.

В розділі 2 було досліджено моделі контролю якості обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів керування та показників використання ресурсів у підсистемах ГТС, вплив віртуалізації мережевих функцій на процедури забезпечення якості обслуговування кінцевих користувачів гібридних телекомунікаційних сервісів.

Дослідження систем контролю та керування якістю обслуговування за технологією LTE та відповідних стандартів та специфікацій (ITU, ESTI, 3GPP), показало, що ці функції реалізовані в основному у підсистемах eNode (диференціювання абонентського трафіку), SGSN (база контролю показників якості), PCRF (правила обслуговування користувачів). Однак для якісного обслуговування гібридних сервісів, у розділі було розроблено ряд моделей функціонування телекомунікаційного середовища.

Якість обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів в роботі оцінюється за кількісними показниками якості обслуговування:

- $t_3$  – час затримки в обслуговуванні гібридного телекомунікаційного сервісу керування ( $t_{data} - t_{start}$ ), де  $t_{start}$  – момент запиту абонентом дозволу на передачу інформаційних потоків даних,  $t_{data}$  – момент початку передачі абонентом інформаційних потоків даних.
- $P$  – ймовірність відмови у обслуговуванні гібридного телекомунікаційного сервісу

$$P = \prod_{i=1}^N P_i \quad (1)$$

де  $P_i$  – ймовірність відмови у віртуалізованому вузлі обслуговування одного з типів запитів до підсистеми ГТС.

Обслуговування гібридного телекомунікаційного сервісу керування здійснюється у наступних підсистемах віртуальної мережі контролерів: контролер базових станцій VBS, блок керування мобільністю абонентів MME, контролер обслуговуючого шлюзу SGW-Ctrl, контролер шлюзу до мереж передачі даних інших операторів PGW-CTRL, підсистема контролю політик обслуговування і тарифікації абонента PCRF, підсистема домашніх абонентів HSS, отже  $N$  – загальна кількість запитів до вказаних підсистем обслуговування абонентів.

- $\alpha$  – коефіцієнт використання ресурсів ГТС

$$\alpha = \frac{Y}{V} \quad (2)$$

де  $Y = \sum_i^M Y_i$  – сумарна інтенсивність обслуженого навантаження,  $M$  – кількість вузлів обслуговування у ГТС;

$V = \sum_i^M V_i$  - загальний об'єм ресурсів ГТС.

Одним з найбільш значимих показників якості функціонування системи є доступність сервісів, яка відповідно до специфікації ETSI TS 102 250-2 (2015) визначається такими показниками:

- Відсоток успішно виконаних процедур активації PDP context, ініційованих MS 2G/3G (PDP Context Activation Success Rate);
- Затримка часу встановлення TCP-сесії для сервісу Web Browsing;
- Відсоток блокувань в ЧНН в режимі передачі даних через перевантаження на 2G/3G ;
- Відсоток успішно виконаних спроб реєстрації мобільної станції в мережі пакетної передачі даних 2G/3G (PS Attach SR).

В системах мобільного зв'язку третього покоління функції контролю параметрів доступності сервісів виконувала підсистема SGSN. В ядрі EPC ці функції виконує підсистема PCRF, модифікація якої необхідна для забезпечення показників якості обслуговування мережевих функцій керування.

В розділі 3 була описана система керування ГТС, що реалізує запропонований *принцип обслуговування потоків з віртуалізацією ресурсів у ГТС*

Всі підсистеми мобільного зв'язку керуються розташованими у дата центрі контролерами. Взаємодія між контролерами підсистем з метою керування відбувається лише в середині дата центру. Функції керування процесом обслуговування, а саме: пошук абонента, пошук фізичних елементів, які беруть участь у процесі передачі, і передача керівного впливу на відповідні фізичні елементи, переносяться у хмару.

Абонентський пристрій для організації зв'язку взаємодіє з контролером базової станції, розташованим у дата центрі. Відповідно до протоколів контролери підсистем взаємодіють між собою на рівні дата центру, надсилаючи фізичному обладнанню кінцеві керівні рішення для запуску процесу передачі даних (рис. 2).

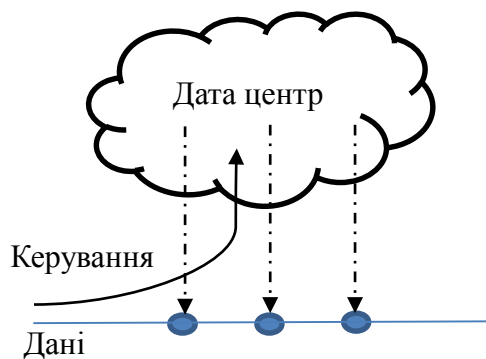


Рисунок 2 – Принцип обслуговування потоків з віртуалізацією ресурсів у ГТС

керування мережею, так і інформаційних потоків. В роботі вдосконалено перший підхід, суть якого полягає у віртуалізації мережевих функцій, що дозволяє відокремлювати систему керування вузлами мобільної мережі від системи передачі даних. На рис. 3 наведено приклад розділення функцій ядра мережі. Було проаналізовано основні функції підсистем ядра і виділено ті функції, які пов'язані з керуванням та з

передачею даних. Функції передачі даних вирішуються у віртуалізованому середовищі розгорнутому на базі групи дата центрів.

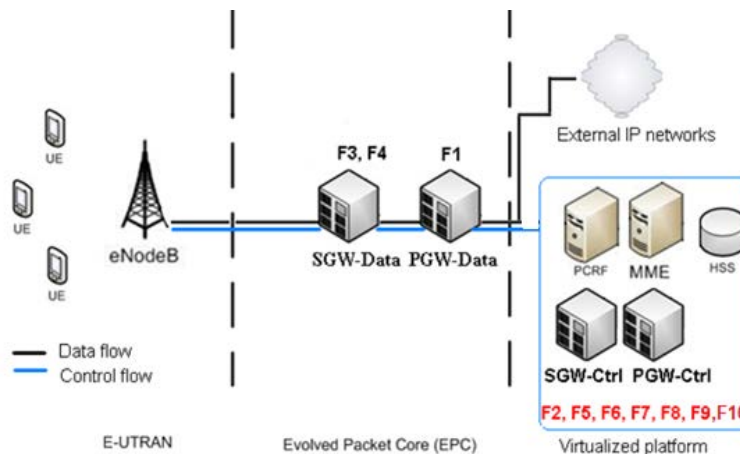


Рисунок 3 – Розподіл функцій ядра мережі між фізичними та віртуальними пристроями

В телекомунікаційній частині ядра EPC зберігається виконання наступних функцій, які пов'язані з процесом передачі даних:

**F1** – функції фільтрації пакетів за користувачами і законного перехоплення трафіку;

**F3** – базова маршрутизація пакетного трафіку і перехоплення пакетного трафіку;

**F4** – функціонал "якірної" точки (точки об'єднання трафіку) для хендвера між базовими станціями NodeB всередині однієї мережі доступу в зоні обслуговування базових станцій згідно набору правил та інструкцій;

До віртуалізованої платформи пропонується перенести виконання функцій підсистем ядра EPC, які пов'язані керуванням:

**F2** – функції розподілу пулу IP-адреси для пристроїв користувачів UE та функціонал PCEF

**F5** – обробка функціоналу BBERF;

**F6** – Traffic Detection Function;

**F7** – User Data Repository (UDR);

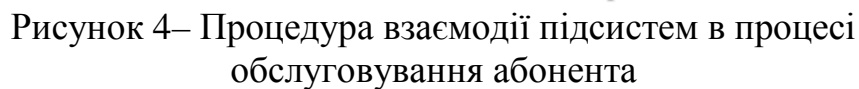
**F8** – Application Function (AF);

**F9** – Система тарифікації (OCS).

На рис. 4 показано процеси взаємодії підсистем мережі із розділенням функцій контролю та передачі даних з віртуалізацією при наданні функцій передачі даних. Фактично кожна стрілка на даній схемі є запитом на обслуговування у даному віртуальному (або фізичному вузлі). Кількість запитів за одиницю часу – це інтенсивність навантаження на даний вузол обслуговування.

Структура мережі та контроль якості обслуговування користувачів відбувається у вузлах. Традиційно підсистеми мережі LTE виконують набір функцій, відповідно до стандартів та специфікацій. В роботі пропонується розділити функції керування підсистемами та функції, які пов'язані з процесом передачі даних безпосередньо мережі LTE. Особливістю є розширення функціоналу підсистем, порівняно з мережами попередніх поколінь.





The diagram illustrates the 3GPP network architecture, showing the flow of data and control planes between various components. The components include:

- eNodeB**: Three radio base stations, each with a red arrow pointing down to it.
- SGSN**: A Serving GPRS Support Node, with a red arrow pointing down to it.
- BSC/RNC**: A Base Station Controller / Radio Network Controller.
- MME**: A Mobility Management Entity.
- HSS**: A Home Subscriber System, represented by a database cylinder.
- PCRF**: A Policy and Charging Rules Function, with a red arrow pointing down to it.
- Serving Gateway**: A gateway that routes and forwards user plane data.
- PDN Gateway**: A gateway that provides access to external packet networks.

The connections and interfaces are labeled as follows:

- S1**: Interface between eNodeB and MME.
- S1-M**: Control plane interface between eNodeB and MME.
- S1-U**: User plane interface between eNodeB and MME.
- S3**: Interface between SGSN and MME.
- S4**: Interface between SGSN and Serving Gateway.
- S5**: Interface between Serving Gateway and PDN Gateway.
- S6**: Interface between MME and PDN Gateway.
- S11**: Interface between MME and Serving Gateway.
- S12**: Interface between BSC/RNC and Serving Gateway.
- Gx**: Interface between PCRF and PDN Gateway.
- S2**: Interface between PDN Gateway and external packet networks.
- SGi**: Interface between PDN Gateway and external packet networks.

Red lines indicate the user plane path from eNodeB to the Serving Gateway and then to the PDN Gateway. Black lines indicate the control plane path from eNodeB to the MME and then to the Serving Gateway and PDN Gateway.

Зовнішні пакетні мережі

Мережі доступу на 3GPP

Контроль затримки у віртуалізованих мережевих вузлах, де інтенсивність обслуговування залежить від обчислювальних ресурсів – потребує модифікації PCRF. Модифікована архітектура мережі оператора зв'язку із застосуванням віртуалізованих функцій керування підсистемами представлена на рис.6. Функції передачі даних реалізовано у телекомунікаційній системі, функції керування підсистемами виконуються у обчислювальному середовищі, яке організовано у



хмарному дата центрі складної структури. Потоки даних позначено прямими лініями, потоки керування в середині дата центру позначено пунктирними лініями з двома крапками, потоки взаємодії та керівного впливу від підсистем, які розміщені у дата центрі, до програмно керованих підсистем телекомунікаційного обладнання позначено пунктирними лініями з однією крапкою.

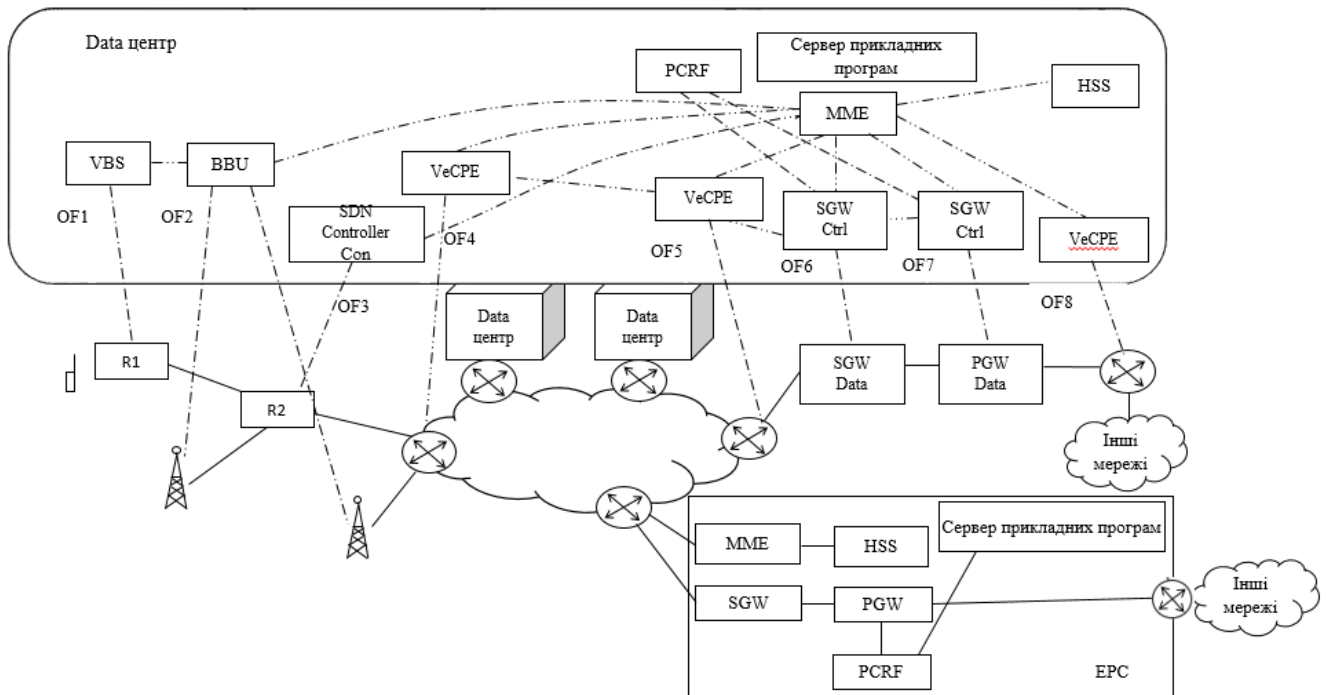


Рисунок 6 – Запропонована архітектура мережі оператора зв'язку з віртуалізацією мережевих функцій керування

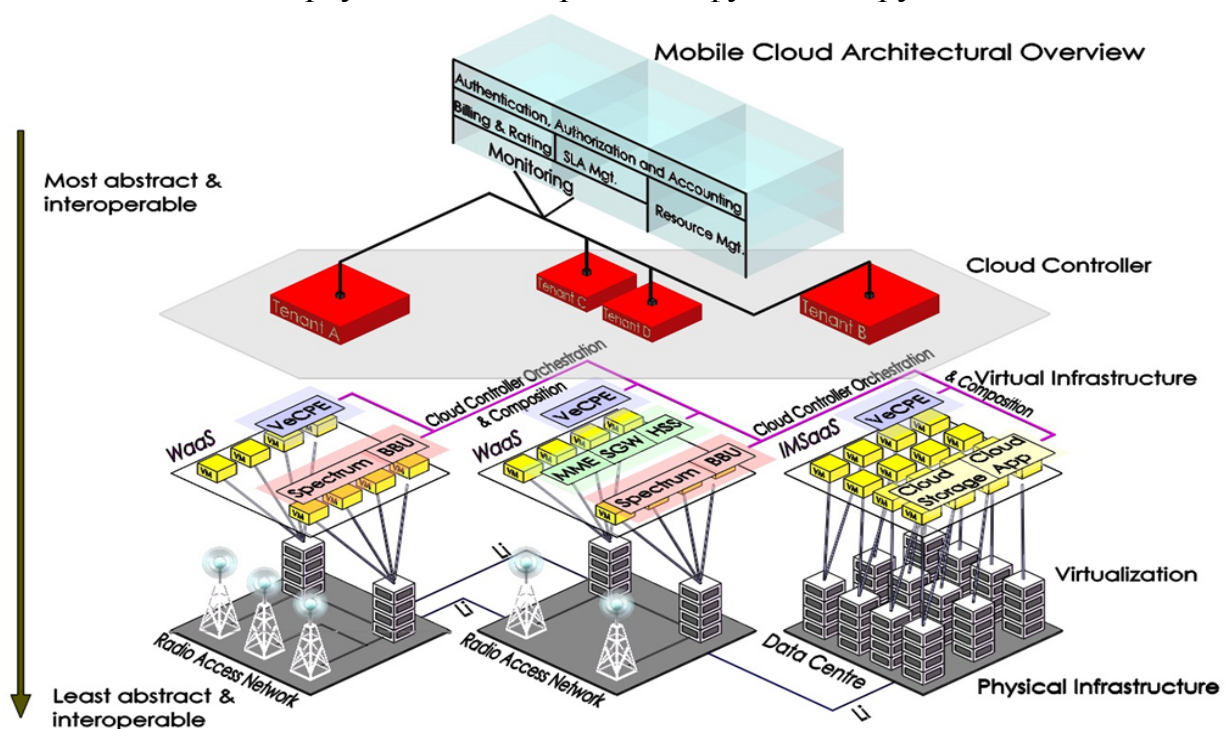


Рисунок 7 – Організація ГТС з віртуалізацією підсистем керування

Багатошарова архітектура гетерогенного середовища надання гібридних телекомунікаційних сервісів, представлена на рис. 7, включає множину дата центрів об'єднаних транспортними оптичними каналами, а також мережу доступу, яка підключена до транспортної мережі та/або до дата центрів. На базі множини дата центрів розгортається єдиний логічний простір, де розгортається віртуальна мережа обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів.

Віртуальна мережа обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів представлена на рис. 8. Вузол віртуальної мережі – це віртуальна машина, в якій виконуються функції підсистеми мережі мобільного зв'язку. У віртуальній машині реалізуються обчислювальні функції керування мережевим елементом. Зв'язки між віртуальними вузлами визначаються інтерфейсами взаємодії мережевих елементів, відповідно до стандартів та специфікації технології LTE. На рис.8  $\lambda$  – інтенсивність надходження запитів на виконання функцій віртуалізованим мережевим елементом, а  $\mu$  – інтенсивність обслуговування запитів у мережевій функції (кількість запитів обслугованих в одиницю часу).

При впровадженні концепції віртуалізації мережевих функцій виникає необхідність контролю сумісної роботи підсистем фізичних (телекомунікаційних) та хмарних. Основні функції контролю якості обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів, пропонується реалізувати у підсистемі PCRF ядра мобільної мережі, функції якої будуть розширені.

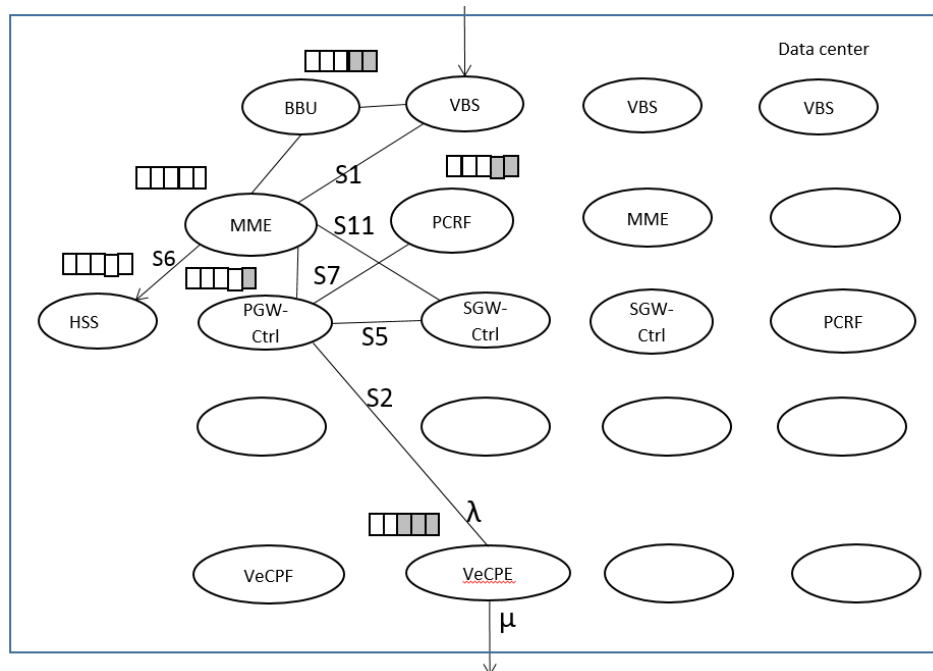


Рисунок 8 – Обслуговування потоків керування у віртуальній мережі ГТС

В четвертому розділі були розглянуті задачі резервування ресурсів у віртуалізованому середовищі для обслуговування надмірного потоку навантаження на елементи ГТС.

Ресурси гетерогенної системи дата центрів для користувачів хмарних сервісів є гнучкими та масштабованими, саме тому в умовах нестаціонарності службових потоків потрібно мати можливість реконфігурації ресурсів

обслуговування. Необхідно розробити нову систему управління ресурсами обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів.

Запропоновано принцип резервування ресурсів у віртуалізованому середовищі для обслуговування надмірного потоку навантаження на елементи ГТС, основна ідея принципу полягає в тому, щоб обмежити вхідний потік на основний вузол обслуговування і розрахувати параметри додаткового вузла обслуговування.

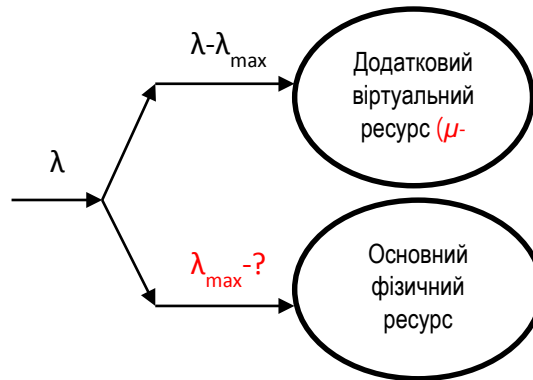


Рисунок 9 – Схема резервування ресурсів у віртуалізованому середовищі

Для вузла обслуговування визначається максимальна інтенсивність вхідного потоку, який може бути обслугованих зі заданими параметрами QoS, для решти потоку визначається оптимальна інтенсивність обслуговування та відповідні ресурси альтернативного вузла обслуговування, які забезпечують якісне обслуговування службових потоків (рис. 9).

**Математична модель задачі формування вхідного потоку навантаження** також має широке застосування у сучасних ТКС, які обслуговують великі об'єми нестационарних потоків запитів від абонентів на надання гібридних сервісів. Ця задача буде корисною не тільки при коректуванні навантаження на групу віртуальних вузлів зв'язаних інтерфейсів, але й при плануванні потоків на підсистеми обслуговування.

Для розрахунку потоку, який спрямовується на вузол обслуговування, необхідні дані про кількість заявок, які одночасно обслуговуються у вузлі обслуговування, інтенсивність обслуговування заявок у системі, кількість узагальненого обчислювального ресурсу, який використовується для обслуговування однієї заявки, а також загальну кількість ресурсу у вузлі і вимоги до показників якості обслуговування запитів.

#### **Вхідні дані:**

- $n$  – кількість заявок, які можуть одночасно обслуговуватися у вузлі обслуговування;
- $\mu$  – інтенсивність обслуговування заявки;
- $v_k$  – кількість узагальненого обчислювального ресурсу, який використовується для обслуговування однієї заявки при одночасному обслуговуванні  $k$  заявок  $k = \overline{1, n}$ ;
- $V$  – доступний об'єм узагальненого ресурсу, який спільно використовується заявками;
- $m$  – допустима кількість запитів у черзі на обслуговування;

- $R$  – відсоток заявок, які обслуговуються у системі не більше допустимого часу затримки, визначається експертами;

- $l$  – кількість запитів у черзі, до досягнення якої блокується надходження запитів до системи відповідно до алгоритмів раннього упередження перевантажень.

**Вихідні дані:**

- $\lambda$  - рекомендоване значення для інтенсивності вхідного потоку, що буде направлено на обслуговування у  $n$ -канальний обслуговуючий пристрій.

Розроблена математична модель задачі формування вхідного потоку розрахована на дисципліну обслуговування запитів за алгоритмом раннього виявлення перевантажень, враховує ергодичний розподіл ймовірностей одночасного перебування у системі  $k$ -заявок:

$$p_0 = \frac{1-\beta^{m-l}}{A_n(\alpha, \beta)}, \beta \neq 1, \alpha = (\lambda/\mu), \beta = (\lambda/n) \quad (3)$$

$$p_k = \frac{\alpha^k}{k!} p_0 \quad (k = \overline{1, n}) \quad (4)$$

$$p_{n+k} = \frac{\alpha^n}{n!} \beta^k p_0 \quad (k = \overline{1, l}) \quad (5)$$

$$p_{n+k} = \frac{\alpha^n}{n!} \frac{\beta^k - \beta^m}{1 - \beta^{m-l}} p_0 \quad (k = \overline{l+1, m-1}) \quad (6)$$

$$p_{n+m} = \frac{\alpha^n}{n!} \frac{(1-\beta)\beta^m}{A_n(\alpha, \beta)} \quad (k = n+l+1, n+m-1) \quad (7)$$

$$A_n(\alpha, \beta) = (1 - \beta^{m-l}) \sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \left( \frac{\beta - \beta^{m-l+1}}{1 - \beta} - (m-l)\beta^{m+1} \right) \quad (8)$$

Була запропонована математична модель пошуку максимально допустимого навантаження на систему для якого вистачить ресурсів обслуговування і з заданою ймовірністю час обслуговування не буде перевищувати допустимого значення.

$$\begin{aligned} & \lambda \rightarrow \max \quad (9) \\ & \left\{ \begin{aligned} & 4 * \left( \sum_{i=1}^n i v_k^g p_i + n v_k^g \sum_{i=n+1}^s p_i \right) \leq V^g, g = \overline{1, G} \\ & \sum_{i=1}^s p_i \leq R \end{aligned} \right. \quad (10) \end{aligned}$$

де  $s$  – номер стану, розрахований за ЦГТ на основі вимог до якості обслуговування.

Задача вибору потужності вузла обслуговування є задачею нелінійного програмування. В процесі моделювання використовувалася функція Matlab `fmincon`, яка зупиняється при наближенні до оптимального значення із заданою похибкою.

**Математична модель задачі вибору потужності вузла обслуговування** набуває особливої ваги при плануванні процесів обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів, оскільки вирішує проблему розрахунку кількості обчислювальних ресурсів для обслуговування нестационарного потоку.

Визначення NFV-ресурсів було наведено у специфікації ETSI GS NFV 003. До ресурсів обслуговування відносяться оперативна та дискова пам'ять, процесорний час із розрахунку одноядерного процесору (рис. 10).

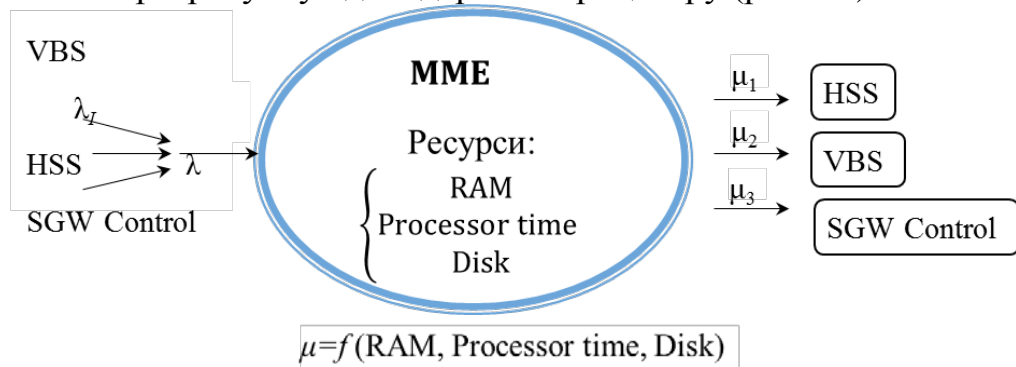


Рисунок 10 – Задача вибору ресурсів вузла обслуговування

Розрахунок ресурсів обслуговування необхідно проводити для кожного віртуального вузла обслуговування, на основі даних про інтенсивність надходження заявок. При розрахунку інтенсивність надходження покладається як величина з незмінюваним середнім значенням. Потік задач складається з різних запитів, визначених протоколами взаємодії вузла обслуговування. Нижче наведено набір запитів до підсистеми MME в процесі встановлення з'єднання.

Запити до MME:

1. S1AP: S1 Setup
2. Initial UE Attach
3. *Authn. Data Response*
4. S1AP: UL - Info Transport+ NAS: Authn. Response
5. S1AP: UL Transfer+NAS Security Mode Complete
6. *Insert Subscriber Data*
7. *Update Location Ack*
8. GTP: Create Session Response
9. S1AP: Initial Context Setup Response
10. S1AP: UL – NAS Transport
11. GTP: Modify Bearer Response

**Вхідні дані:**

- $\lambda$  – середнє значення проміжків часу між моментами надходження замовлень,

- $n$  – кількість заявок, які можуть одночасно обслуговуватися у віртуальному вузлі.

- $v_k$  – кількість узагальненого обчислювального ресурсу, який використовується для обслуговування однієї заявки при одночасному обслуговуванні  $k$  заявок  $k = \overline{1, n}$ .

- $a, b$  – верхня та нижня границя завантаженості системи обслуговування,

•  $R$  – задане експертами значення, який показує долю часу роботи системи без черги.

•  $V$  – кількість узагальненого ресурсу

**Вихідні дані:**

•  $\mu$  – вектор інтенсивностей обслуговування заявок, елемент вектору  $\mu_k$  відповідає інтенсивності обслуговування, якщо у системі перебуває  $k$  заявок,  $k = \overline{1, n}$ .

Основна задача: мінімізувати ресурси, які використовуються для обслуговування заявок у системі.

Була запропонована математична модель задачі вибору потужності вузла обслуговування, яка враховує ергодичний розподіл ймовірностей одночасного перебування у системі  $k$ -заявок. Також враховується залежність інтенсивності обслуговування від кількості заявок, які обслуговуються одночасно. Задача полягає у пошуку такого розподілу інтенсивностей обслуговування, який би мінімізував загальну кількість ресурсів, що використовуються для обслуговування, утримував завантаженість системи у заданих межах, а також забезпечувала роботу системи без затримки із заданою ймовірністю.

Для вирішення задачі застосовані формули для розрахунку ергодичного розподілу :

$$p_k = p_0 \prod_{i=1}^k \alpha_i, \quad (k = \overline{1, n}); \quad (11)$$

$$p_{n+k} = p_0 \gamma_n^k \prod_{i=1}^n \alpha_i, \quad (k = 1, 2, \dots, m); \quad (12)$$

$$p_0 = \left( 1 + \sum_{k=1}^n \prod_{i=1}^k \alpha_i + \frac{\gamma_n}{1-\gamma_n} \prod_{i=1}^n \alpha_i \right)^{-1} \quad (13)$$

де  $\alpha_k = \lambda/(k\mu_k)$ ,  $\gamma_k = \lambda/(n\mu_k)$ ,

Цільова функція має вигляд (14):

$$\sum_{k=1}^n k v_k p_k \rightarrow \min \quad (14)$$

функція є неперервною відносно змінних  $\{\mu_1, \mu_k, \dots, \mu_n\}$ ,

При обмеженнях (15):

$$\frac{\lambda}{a} \geq \mu_i, \frac{\lambda}{b} \leq \mu_i \quad (15)$$

$$\sum_{k=1}^n \frac{\prod_{i=1}^k \lambda/(i\mu_i)}{1 + \sum_{k=1}^n \prod_{i=1}^k \lambda/(i\mu_i) + \frac{\lambda/(n\mu_n)}{1-\lambda/(n\mu_n)} \prod_{i=1}^n \lambda/(i\mu_i)} = R$$

Задача вибору потужності вузла обслуговування є задачею нелінійного програмування. У процесі моделювання використовувалася функція Matlab `fmincon`, яка здійснює ітераційний пошук, починаючи з початкового значення,

який зупиняється при наближенні до оптимального значення із заданою похибкою.

*Процедура гарантування заданої якості обслуговування* полягає у наступному: значення затримки в обслуговуванні заявки на встановлення з'єднання (роз'єднання, відновлення) порівнюється із політикою якості обслуговування відповідного абонента. Якщо показник не відповідає заданим пороговим значенням, тоді послідовно порівнюються показники якості у віртуальних вузлах та каналах зв'язку віртуальної мережі із пороговими значенням відповідних політик збережених у підсистемі PCRF. Даний принцип аналізує такі кількісні показники роботи системи, як: час затримки заявки службового потоку у віртуальному вузлі та ймовірність втрати запитів у вузлі обслуговування. Вузол обслуговування – це віртуальна машина яка виконує функції керування мережевого вузла.

Після того, як було виявлено де саме є проблема зниження показників якості обслуговування, приймаються міри. Якщо проблема у часі передачі між вузлами обслуговування, то рекомендується зробити реконфігурацію системи, а саме змінити розміщення віртуальних вузлів у фізичних вузлах гетерогенної структури дата центрів. Якщо проблема ідентифікована в одному вузлі обслуговування, тоді рекомендовано збільшити кількість ресурсів обслуговування відповідно до Задачі 1. Якщо спостерігається зниження показників якості обслуговування у групі вузлів зв'язаних інтерфейсів, наприклад, які утворюють єдине ядро мережі EPC – тоді рекомендовано обмежити потік заявок, які направляються на обслуговування відповідного ядра. Для цього рекомендовано розрахувати інтенсивність навантаження на групу вузлів відповідно до Задачі 2. Алгоритм наведений на рис. 11.

Для реалізації принципу динамічного контролю якості потрібна модифікація підсистем системи PCRF. Підсистема «Єдине сховище політик» розширюється, додаються наступні політики відносно показників якості обслуговування потоків керування:

1. Допустимий час затримки заявки службового потоку у віртуальному вузлі.
2. Допустимі втрати запитів у віртуальному вузлі.
3. Допустимий час обслуговування запитів у групах віртуальних вузлів які забезпечують заданий сервіс.
4. Допустимі затримки при передачі між вузлами обслуговування.
5. Значення допустимих затримок доставки керівного впливу на мережеві вузли.

Розширена підсистема зображена на рис. 12.

- Підсистема «Керування політикою» формує групу вимог до виконання набору політик по відношенню до різних потоків керування.

- Підсистема «Сервер політики» виявляє проблему невідповідності поточних показників якості заявленим політикам обслуговування відповідного абонента.



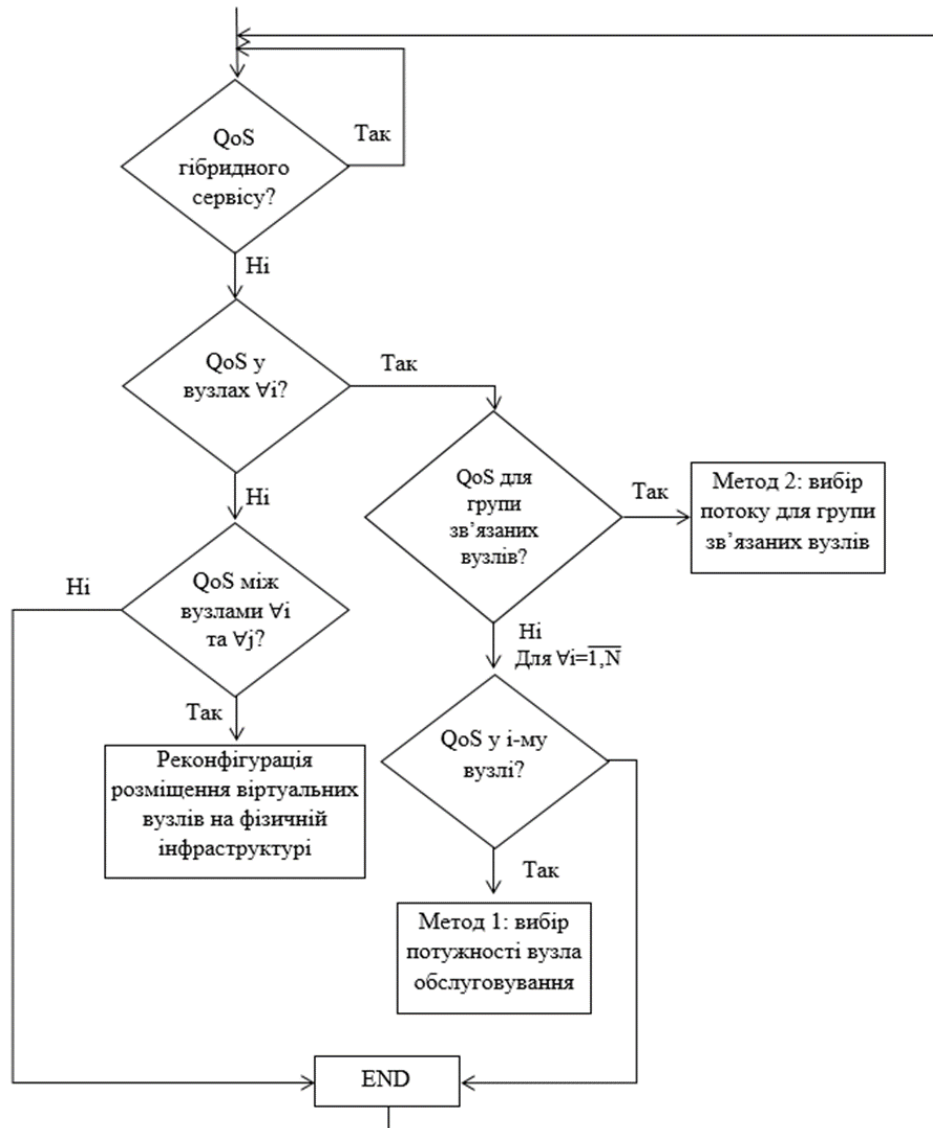


Рисунок 11 – Алгоритм гарантування заданої якості обслуговування



Рисунок 12 –Модифікація підсистеми PCRF

- У підсистемі «Сервер прикладних програм» реалізовані програмні модулі в яких виконуються обчислення відповідно до запропонованих методів.



Вихідним даними для методів є статистичні дані отримані від системи моніторингу та дані про політики, які забезпечуються для відповідних абонентів.

- Підсистема «Сховище даних про абонента» доповнюється інформацією про віртуальні вузли, або створюється окрема база даних інформації про статистику функціонування віртуальної мережі обслуговування, де збирається інформація про потоки заявок на обслуговування, статистика відносної залежності інтенсивності обслуговування від ресурсів обслуговування диференційовано для кожного типу запитів.

Принцип динамічного контролю якості обслуговування потребує нових процедур: необхідно організувати взаємодію системи керування мобільного зв'язку із системою керування віртуалізованими ресурсами (рис. 13).

Контроль якості виконання керівних процедур оцінюється на рівні абонентського пристрою. Абонентський пристрій фіксує час затримки у виконанні службових процедур, а саме час від моменту ініціалізації з'єднання до моменту початку передачі даних, та передає підсистемі PCRF.

PCRF отримує цю інформацію від абонента та аналізує на сервері політик; у підсистемі виконання рішень політики порівнює отримані дані на відповідність обраної політики, яка відповідає абоненту та зберігається у «Сховищі даних про абонента».

Якщо значення параметрів затримок не відповідають політиці, PCRF робить запит до підсистеми «Оркестратор» для визначення групи вузлів  $i$ , які обслуговують відповідного абонента.

Підсистема «Оркестратор» надсилає номери вузлів, які обслуговують абонента, розташованого у заданій місцевості. PCRF відправляє підсистемі «Моніторинг хмарних прикладних програм» запит для отримання інформації про час затримки та показники втрат у вузлах  $i$ , а також інформацію про затримки між вузлами обслуговування.

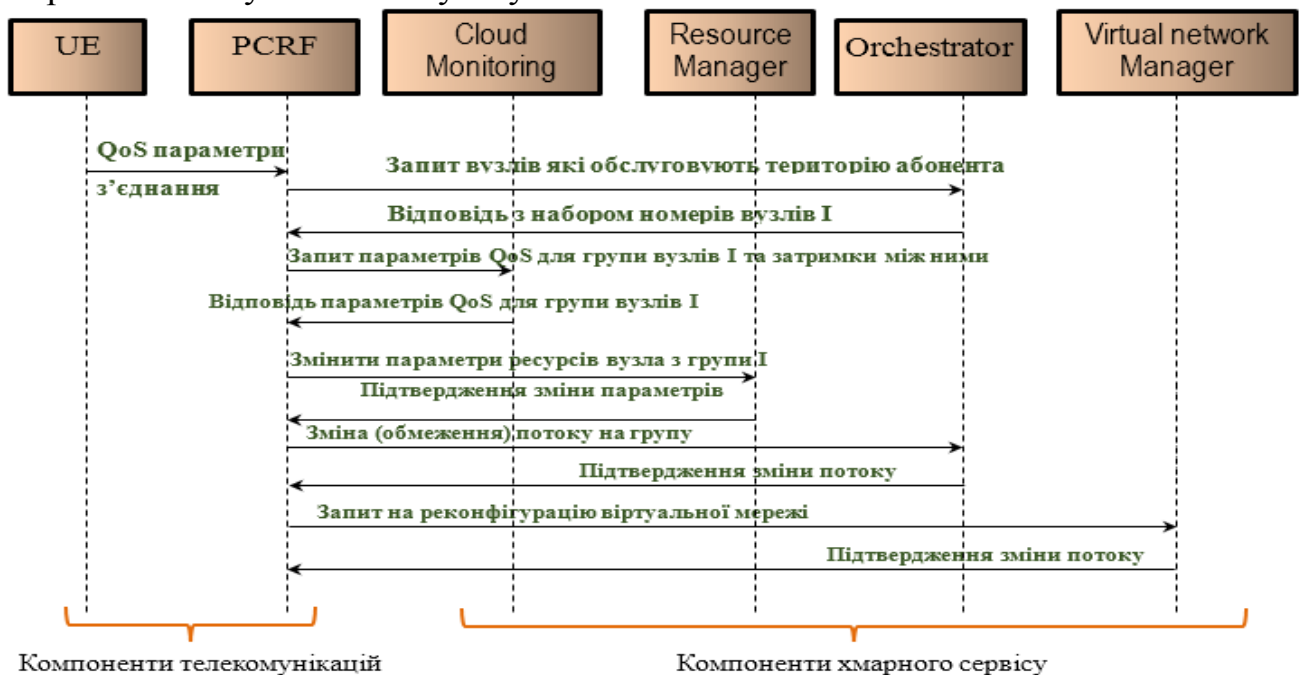


Рисунок 13 – Взаємодія системи керування мобільного зв'язку та системи керування віртуалізованим середовищем

Система моніторингу хмарних прикладних програм збирає інформацію відносно показників затримки та втрат гібридних сервісів, які обслуговуються у вузлах віртуальної мережі. Дані відносно групи вузлів обслуговування передаються у PCRF, де реалізовано принцип динамічного контролю якості обслуговування гібридних сервісів. Відповідно до керівних рішень, підсистема PCRF направляє запити:

- на реконфігурацію віртуальної мережі, до «Менеджера віртуальної мережі»;
- на реконфігурацію ресурсів до «Менеджера ресурсів»;
- на зміну потоків обслуговування до «Оркестратора» потоків по віртуальній мережі.

У п'ятому розділі запропоновано принцип прогнозування необхідного віртуального ресурсу у хмарі для забезпечення роботи ГТС.

На основі великої кількості даних системи моніторингу потрібно розробити конфігурації системи обслуговування, які задовільняють вимогам до якості процесу обслуговування. На основі конфігурацій та статистичних даних розробити розклад використання ресурсів та періодично перевіряти достатність ресурсів (рис. 14).



Рисунок 14 –Принцип прогнозування ресурсу

Основними факторами, які впливають на прогноз, є нестационарність абонентської активності протягом доби та можливості гнучкої конфігурації ресурсів при використанні хмарного обчислювального середовища.

**Метод побудови розкладу вибору конфігурацій на основі довгострокової статистики** базується на великій кількості статистичних даних які збираються протягом тривалого часу (наприклад протягом року). Ці дані групуються по різним дням тижня. Аналізується довгострокова статистика навантаження, що створюється групою вузлів доступу, якщо даний метод застосовується для планування конфігурацій груп вузлів обслуговування, або навантаження на вузол обслуговування, якщо метод застосовується для планування конфігурацій розподілу ресурсів вузлів.

Метод вирішує завдання визначення порядку застосування конфігурацій ресурсів обслуговування, а саме моментів переключення (рис. 15). Основна наукова ідея методу полягає у ітераційному визначенні конфігурацій для різних інтервалів часу та перевірки нерівності Чебишова для забезпечення вимог щодо достатності ресурсів обслуговування протягом всієї часової прямої.

**Вхідні дані:**

- $\lambda_k$  – максимальна інтенсивність обслуговування, яка відповідає  $k$ -й конфігурації;
- $\vec{\lambda}_t$  – набір векторів статистичних значень кількості заявок,  $t \in [0, T]$ ;
- $\vec{\lambda}_t = (\lambda_t^1, \lambda_t^2, \dots, \lambda_t^{50})$  – це набір значень кількості заявок, які надійшли у  $i$ -й момент часу, за останні 50 тижнів.

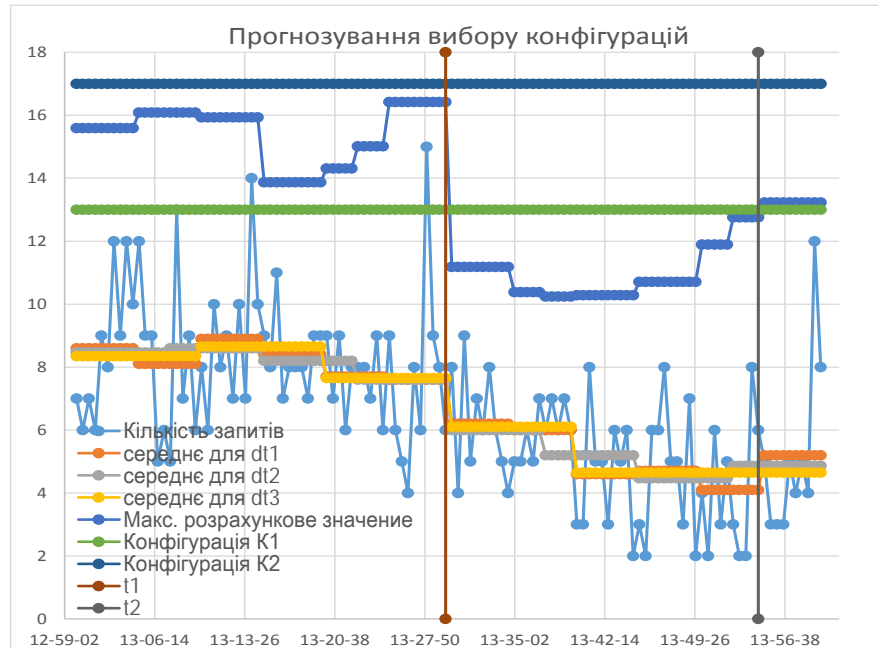


Рисунок 15 – Метод побудови розкладу вибору конфігурацій на основі довгострокової статистики

**Вихідні дані:**

- $(k, t)$ , де  $t \in [0, T]$  – рекомендовані моменти зміни інтенсивності обслуговування,  $k$  – рекомендована конфігурація системи, на яку слід перейти в момент часу  $t$ .

**Алгоритм методу:**

*Етап 1.* Розбити часову вісь на інтервали часу тривалістю  $\Delta t$ ;

*Етап 2.* Для кожного інтервалу  $\forall i = \overline{1, \frac{24}{\Delta t}}$  знайти середнє значення  $M\lambda$  та дисперсію  $\sigma^2$ . Для аналізу береться множина даних зібраних за тривалий час обслуговування;

*Етап 3.* Для кожного інтервалу знайти мінімальну конфігурацію, для якої виконується нерівність:

$$M\lambda + 3\sigma^2 \leq \lambda_k \quad (16)$$

Створити тимчасову множину  $Kt = \{Kt_i\}$ ,  $Kt_i = (k, i)$ ,  $i = \overline{1, T}$

*Етап 4.* Створити постійну множину  $Kt'$ , якщо  $Kt' = \emptyset$ , то  $Kt' := Kt$ , Етап 5; інакше попарно порівняти елементи множин  $Kt'$  і  $Kt$ , якщо  $\forall Kt'_i$  виконується  $Kt'_i = Kt_i$ , то Етап 6, інакше  $Kt'_i = \max(Kt'_i, Kt_i)$ , Етап 5;

*Етап 5.* Змінити значення  $\Delta t$ , перейти на Етап 2;

*Етап 6.* На основі  $Kt'_i$  визначити  $(k, t)$ , де  $t \in [0, T]$  – рекомендовані моменти зміни інтенсивності обслуговування,  $k$  – рекомендована конфігурація системи, на яку слід перейти в момент часу  $t$ .

#### **Метод короткострокового прогнозування навантаження**

Метод короткострокового планування є вдосконаленим методом прогнозування ARIMA - авторегресійний метод із ковзковим математичним очікуванням. Однак на відміну від відомого методу, пропонується розв'язати задачу пошуку мінімального ковзкового інтервалу, використання якого буде задовольняти вимогам, що дозволить мінімізувати кількість операцій з плаваючою точкою для виконання передбачення, що забезпечить оптимальну швидкість виконання передбачення.

Запропонований метод складається з двох етапів – розрахунок інтервалу прогнозування на основі статистики роботи даного вузла обслуговування і безпосередньо періодичне прогнозування навантаження та контроль достатності ресурсів.

#### **Вхідні дані:**

- $T_n$  - інтервал часу для якого потрібен прогноз.
- $\lambda_i$  - кількість заявок за 1мс, ( $i \in 0, \dots, N$ ),  $N = T_{\text{інф}} / 1\text{мс}$ ,  $\lambda_i \in \Lambda$ , де  $\Lambda$  - множина значень статистики кількості заявок, що надходили протягом часу  $T_{\text{інф}}$  (спочатку задається, потім корегується на 2-му етапі методу) до початку здійснення прогнозу,  $|\Lambda| = N$ .
- $T_{\text{прог}}$  - період прогнозування, час по завершенню якого, запускається алгоритм прогнозування.
- $M$  – гранична кількість заявок, яка може бути обслугована при заданій конфігурації обслуговуючого пристрою.
- $P$  – ймовірність помилки прогнозування.

Короткострокова статистика збирається локально при обслуговуючому пристрої та зберігається не довше  $T_{\text{інф}} + T_{\text{прог}}$ , інтервал дискретизації часу 1 мс.

#### **Вихідні дані:**

- $z \in \{0, 1\}$  –  $z=0$  не змінювати конфігурацію;  $z=1$  змінити конфігурацію.

#### **Алгоритм методу:**

*Підготовчий етап.* Навчання системи на основі статистичних даних. Пошук мінімального  $T_{\text{інф}}$  (інтервал часу збирання інформації):

$$T_{\text{інф}} \rightarrow \min, \quad (17)$$

для якого виконується обмеження:

$$\bar{\lambda}_{T_{\text{прог}}} + 3\sigma > M, \quad (18)$$

де  $\bar{\lambda}_{T_{\text{прог}}}$  і  $\sigma$  – розраховуються відповідно до основного етапу.

Обмеження виконується для  $P$  статистичних вибірок отриманих у різні інтервали часу.

Спосіб розв'язку: перевірка значень для послідовності утвореної за принципом  $T_{\text{інф}}^{k+1} = T_{\text{інф}}^k + \Delta$ ;  $T_{\text{інф}}^0 = T_{\text{прог}}$ .

*Основний етап динамічного контролю.*

1. Аналіз статистичних даних  $\lambda_i$  за інтервал часу  $T_{\text{інф}}$ , що передує моменту розрахунку. Побудова за методом найменших квадратів оцінок коефіцієнтів  $\hat{a}$  та  $\hat{b}$ :

$$\lambda = ai + b \quad (19)$$

2. Розрахувати  $\bar{\lambda}_{T_{\text{прог}}} = \hat{a}T_{\text{прог}} + \hat{b}$ .

3. Якщо  $\bar{\lambda}_{T_{\text{прог}}} + 3\sigma \leq M$ , тоді  $z=0$ , інакше  $z=1$ .

Принцип планування ресурсів ГТС базується на аналізі великої кількості статистичних даних. Він дозволяє розрахувати конфігурації обслуговування та план переключення між ними у процесі експлуатації системи керування.

Основними етапами при плануванні ресурсів ГТС є:

- аналіз даних;
- розрахунок конфігурацій;
- розрахунок плану застосування конфігурацій, які забезпечують утримання показника використання ресурсів NFV у заданих межах;
- динамічний контроль достатності ресурсів, відповідно до короткострокової статистики.

Аналіз даних передбачає побудову моделей потоків даних для кожної точки доступу, моделі статистики навантаження на кожний вузол обслуговування (як віртуальний так і фізичний), аналіз карти потоків по мережі (рис. 16).

Розрахунок конфігурацій складається з розрахунку зон обслуговування та розрахунку ресурсів обслуговування, відповідно до статистики навантажень на вузли з використанням результатів задачі 1.

Розрахунок конфігурацій зон обслуговування передбачає визначення в кожній точці доступу, по якій є статистика навантаження, віртуалізованої (або фізичної) системи ядра оператора зв'язку, яка буде здійснювати обслуговування службових потоків.

Далі за методом побудови розкладу на основі довгострокової статистики (задача 3) визначається графік використання розрахованих конфігурацій системи.

Для забезпечення контролю за перевантаженням у вузлах обслуговування здійснюється моніторинг достатності ресурсів на наступний період часу на основі короткострокової статистики – задача 4.

На рис. 17 показані основні процедури принципу планування ресурсів. На схемі можна бачити, які системи задіяні для реалізації контролю та планування

ресурсів. Основні операції виконуються у системі PCRF під час взаємодії між її підсистемами, а саме між підсистемами «Сховище даних про абонента», «Сервер прикладних програм», «Сервер політик», «Порядок впровадження політик», а також системою керування гетерогенним середовищем – «Ресурс менеджер» та

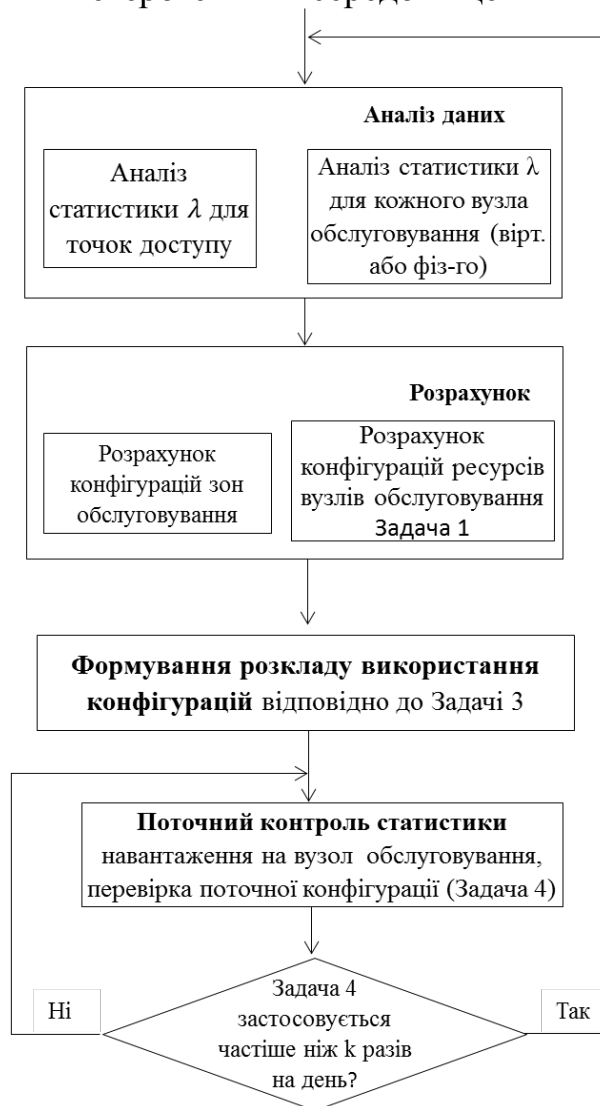


Рисунок 16 – Алгоритм планування ресурсів ГТС на базі аналізу статистичних даних

«Оркестратор потоків». Для збору даних про віртуальні вузли також використовується «Моніторинг віртуальних сутностей» - система, яка також відноситься до системи керування гетерогенним середовищем, але не включається в опис процедури. Передбачається, що довгострокова статистика віртуальних вузлів зберігається у «Сховищі даних про абонента».

На основі запропонованих принципів, моделей та методів була запропонована методологія забезпечення якісного обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів, яка вирішує проблему відсутності інструментарію контролю якості обслуговування у гетерогенних ТКС з віртуалізацією мережевих функцій, де якість обслуговування користувачів залежить не лише від організації телекомунікаційної мережі, але й від організації обчислень та взаємодії між телекомунікаційним і обчислювальним середовищем.

У роботі було систематизовано всі параметри ГТС і виділено групи:

- Група динамічно змінюваних параметрів, статистики яких фіксуються системами моніторингу хмарної системи обслуговування і телекомунікаційною системою.

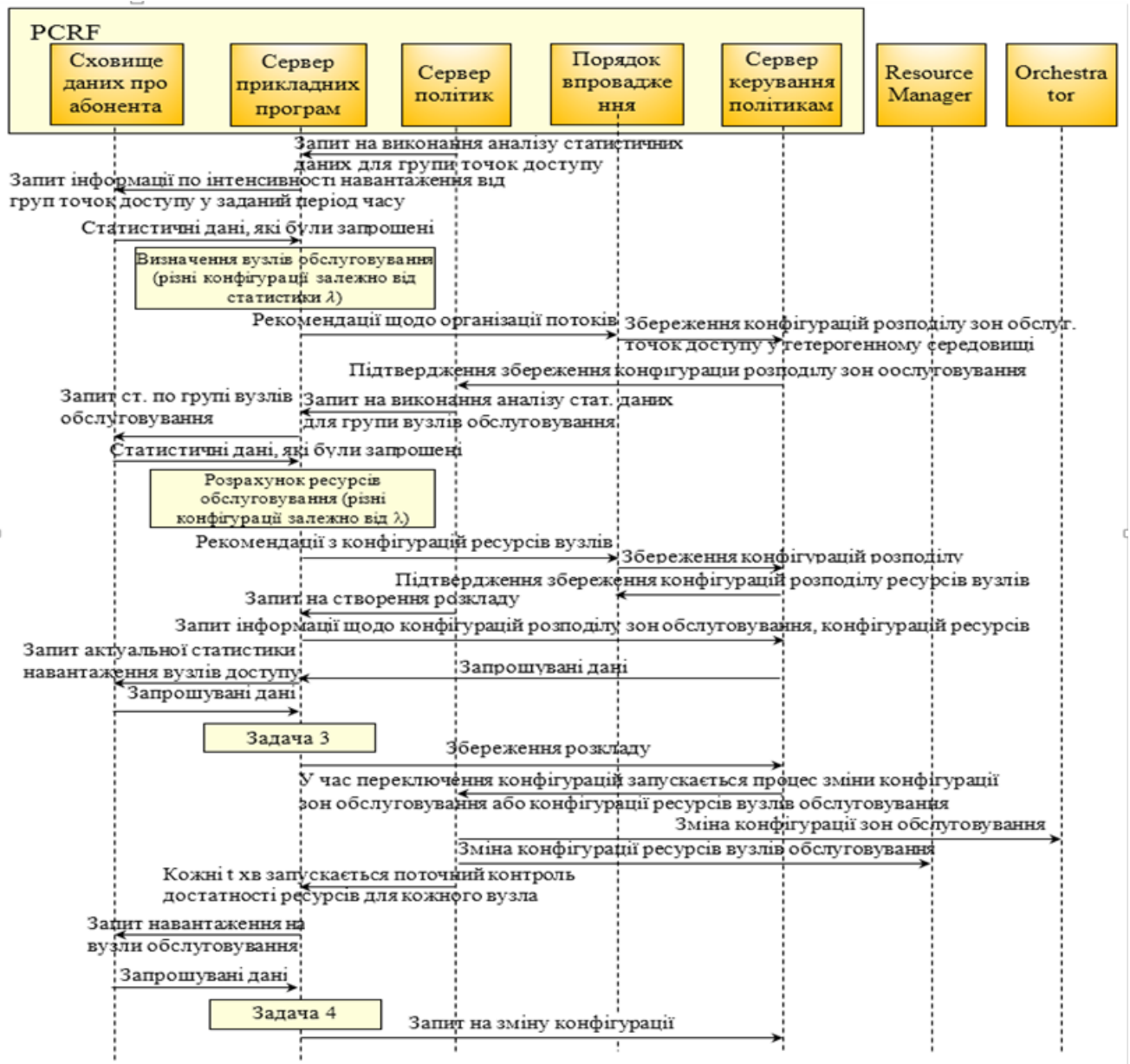


Рисунок 17 – Процедура планування обсягу ресурсів ГТС

- Група множин граничних значень параметрів, які задаються стандартами та специфікаціями і зберігаються на сервері політик обслуговування у системі PCRF.
- Група рідко змінюваних параметрів.
- Група множин параметрів, які розраховуються відомими методами на основі груп параметрів, описаних вище.

На рис. 18 наведено принцип методології забезпечення якісного обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів.

Група динамічно змінюваних параметрів:

$V = \{V\}$  – множина вузлів доступних для обслуговування;

$E = \{e_{ij}\}$  – матриця зв'язності вузлів у досліджуваній момент часу;  
 $\Lambda = \{\lambda_{ij}\}$  – множина розрахункового навантаження  $i$ -й вузол обслуговування;  
 $R = \{R_{ij}\}$  – матриця доступних ресурсів;  
 $N = \{n_{ik}\}$  – множина кількостей заявок, які одночасно обслуговуються у  $i$ -му вузлі;  
 $M = \{\mu_i\}$  – множина інтенсивностей обслуговування у вузлі.  
*Група множин граничних значень параметрів:*  
 $D = \{d_{ij}\}$  – множина граничних значень затримки у вузлі для різних типів сервісів;  
 $P = \{P_i\}$  – множина граничних значень для показника втрат пакетів для різних типів сервісів;  
 $S = \{(S_{min\ i}, S_{max\ i})\}$  – множина пар граничних значень коефіцієнту оптимального використання ресурсів  $i$ -го вузла.

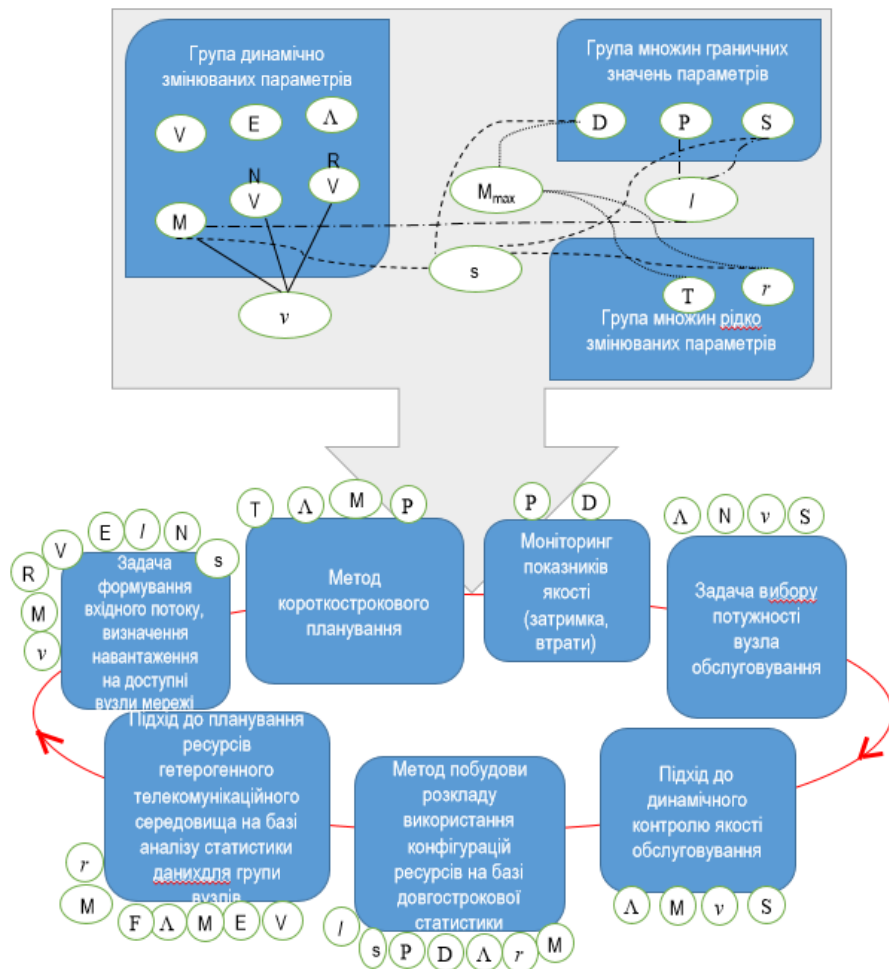


Рисунок 18 – Принцип методології забезпечення якісного обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів.

*Група рідко змінюваних параметрів:*

$r = \{k_{ij}\}$  – матриця можливих конфігурацій вузла, де  $i$  – номер вузла,  $j$  – номер конфігурації;



$T$  – множина допоміжних параметрів часу, які використовуються для формування статистичних вибірок та формування розкладу.

Група множин розрахованих параметрів, які знаходяться відомими методами:

$M_{max}$  – множина максимальної кількості заявок, які можуть бути обслуговані у  $i$ -му;

$s$  – множина допустимих довжин черг для різних типів трафіку;

$l$  – множина граничних значень кількості заявок у черзі, для яких не застосовується метод раннього перевантаження системи;

$v = \{v_{Rij}\}$  – множина об'єму ресурсу  $j$ -го типу, який використовується для обслуговування однієї заявки у  $i$ -му вузлі.

У шостому розділі було представлено ряд імітаційних моделей, які реалізують запропоновані у дисертаційній роботі моделі та методи, на основі яких була розрахована оцінка якості обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів відповідно до запропонованої методології.

Оцінювання якості обслуговування виконувалося на наборі статистичних даних, який було отримано від компанії оператора зв'язку. Процес оцінки відбувався наступним чином, моделювання набору вузлів ядра оператора зв'язку в системі GPSS (Рис. 19).

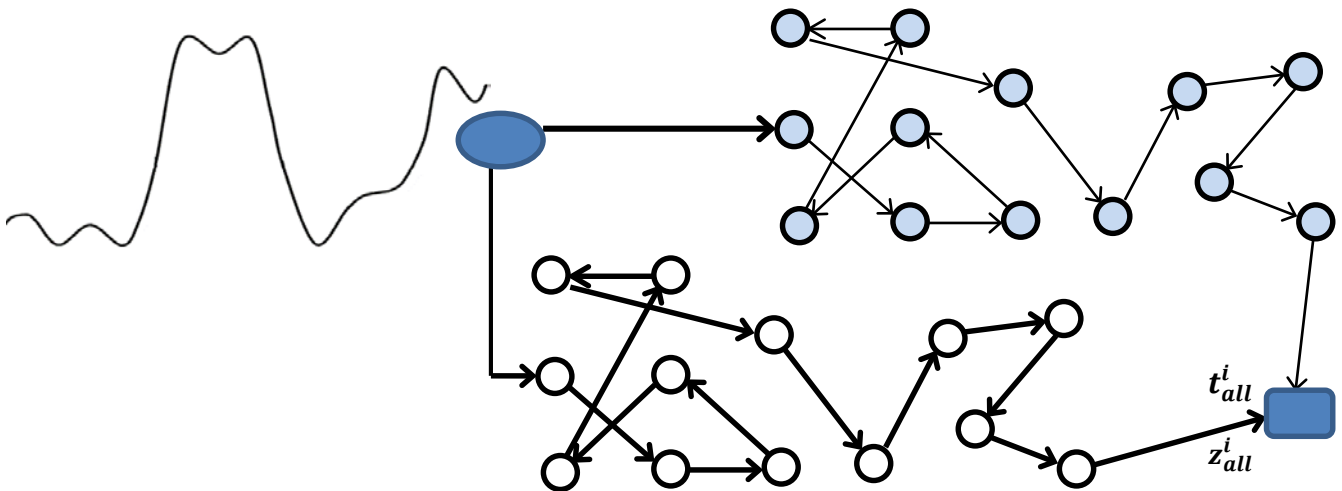


Рисунок 19 – Імітаційна модель ГТС

Вхідні дані імітаційної моделі:

$dt = 0,1$  сек – інтервал дискретизації часу;

$T_{mod} = 864000$  інтервалів – загальний час моделювання (дискретний);

$N_{\Sigma}^i$  – кількість запитів, які надійшли в систему за час  $i$ -го моделювання,  $i = \overline{1, 100}$ ;

$M = \begin{cases} 28, & \text{при викор. додаткових ресурсів;} \\ 14, & \text{інакше} \end{cases}$ ;

$V_j = \{V_{R1j}, V_{R2j}\}$  – доступні об'єми ресурсів вузла  $j$ .

Для кожного моделювання була зафіксована статистика показників якості обслуговування для кожного  $j$ -го вузла, а також в цілому по системі:

$t_j^i$  – середній час затримки у вузлі  $j$  ( $j = \overline{1, M}$ ), під час  $i$ -го моделювання  $i = \overline{1, 100}$ ;

$z_j^i$  – кількість втрачених запитів у вузлі  $j$  ( $j = \overline{1, M}$ ), під час  $i$ -го моделювання  $i = \overline{1, 100}$ ;

$t_{all}^i$  - середній час затримки у системі під час  $i$ -го моделювання  $i = \overline{1, 100}$ ;

$z_{all}^i$  кількість втрачених запитів у системі під час  $i$ -го моделювання  $i = \overline{1, 100}$ .

Також системою моніторингу зберігалися дані про кількість ресурсів у кожний малий інтервал часу:

$R_{1j}^i = \{R_{1j}^1, \dots, R_{1j}^k, \dots, R_{1j}^{T_{\text{мод}}}\}$  – множина даних моніторинг ресурсу  $R1$  у вузлі  $j$  ( $j = \overline{1, M}$ ), під час  $i$ -го моделювання  $i = \overline{1, 100}$ ;

$R_{2j}^i = \{R_{2j}^1, \dots, R_{2j}^k, \dots, R_{2j}^{T_{\text{мод}}}\}$  - моніторинг ресурсу  $R2$  у вузлі  $j$  ( $j = \overline{1, M}$ ), під час  $i$ -го моделювання  $i = \overline{1, 100}$ .

Для оцінки показників якості обслуговування гібридних сервісів виконувався розрахунок ймовірності того, що будуть порушуватися вимоги стандартів та специфікацій щодо для часу обслуговування та ймовірності вчасного обслуговування сервісу, відповідні формули для розрахунку ймовірностей було наведено у Таблиці 1. Результати моделювання зведені у Таблиці 2.

В роботі оператору зв'язку важливим показником функціонування системи в цілому є коефіцієнт використання ресурсів. Практика телекомунікаційної компанії показала, що коефіцієнт використання ресурсів повинен коливатися у межах від 30% до 80%. Оскільки, якщо коефіцієнт використання ресурсів більше 80% починають виникати непередбачувані збої, якщо коефіцієнт використання ресурсів менше 30%, тоді фіксується простій обладнання, та надлишкові витрати на його обслуговування. Тому в процесі моделювання оцінювалася ймовірність того, що ресурси системи використовуються менше заданого порогового значення  $a$ , а також ймовірність того що ресурси системи використовуються більше заданого порогового значення  $b$

$$R_{2j}^i \supset R_{2j\_a}^i = \{R_{2j}^k | R_{2j}^k < a * V_{R2j}; k = \overline{1, T_{\text{мод}}}\} \quad |R_{2j\_a}^i| = A^i \quad (20)$$

$$R_{2j}^i \supset R_{2j\_b}^i = \{R_{2j}^k | R_{2j}^k > b * V_{R2j}; k = \overline{1, T_{\text{мод}}}\} \quad |R_{2j\_b}^i| = B^i \quad (21)$$

Таблиця 1 – Показники якості та відповідні оцінки якості

Показник якості	Порогове значення	Оцінка	Значення оцінки
$t_3$ - час затримки	$P_{tj} = 0.8 \text{сек}$	$p_{1j}$ $\forall j = \overline{1, M}$	$p_{1j} = 1 - (\sum_{i=1}^{100} k_{ij})/100$ $k_{ij} =$ $\begin{cases} 1 & t_j^i > P_{tj} \\ 0 & \text{інакше} \end{cases}$
	$P_{tall} = 8 \text{сек}$	$p_{1all}$	$p_{1all} = 1 - (\sum_{i=1}^{100} K_{iall})/100$ $K_{iall} = \begin{cases} 1 & t_{all}^i > P_{tall} \\ 0 & \text{інакше} \end{cases}$

<b>P</b> ймовірність успішного обслуговування	$P_{zi}=0,98$	$p_{2j}$ $\forall j = \overline{1, M}$	$p_{2j} = 1 - (\sum_{i=1}^{100} K_{iz})/100$ $K_{iz} =$ $\begin{cases} 1 & \frac{N_{\Sigma}^i - z_j^i}{N_{\Sigma}^i} > P_{zi} \\ 0 & \text{інакше} \end{cases}$
	$P_{zall}=0,98$	$p_{2all}$	$p_{2all} = 1 - (\sum_{i=1}^{100} K_{izall})/100$ $K_{izall} =$ $\begin{cases} 1 & \frac{N_{\Sigma}^i - z_{all}^i}{N_{\Sigma}^i} > P_{zall} \\ 0 & \text{інакше} \end{cases}$
<b><math>\alpha</math></b> – коефіцієнт використання ресурсів ГТС	a=0,3	$P_{3R_{2j}}$ $\forall j = \overline{1, M}$	$P_{3R_{2j}} = (\sum_{i=1}^{100} \frac{A_i}{T_{\text{мод}}})/100$
	b=0,8	$P_{4R_{2j}}$ $\forall j = \overline{1, M}$	$P_{4R_{2j}} = (\sum_{i=1}^{100} \frac{B_i}{T_{\text{мод}}})/100$

Таблиця 2 – Результати моделювання

	Стандартне обслуговування	Керування за методологією	Стандартне обслуговування	Керування за методологією
	Середня затримка обслуговування сервісу у вузлі ( $\bar{t}_j = \sum_{i=1}^{100} t_j^i / 100$ )		Оцінка вчасного обслуговування у вузлі ( $p_1 = (\sum_{j=1}^M p_{1j}) / M$ )	
Max <sub>j</sub>	7	9	0,8	0,805
Min <sub>j</sub>	1	1		
Середнє	3,8	4,4		
	Середня затримка обслуговування сервісу по системі ( $\overline{t_{all}} = \sum_i t_{all}^i / 100$ )		Оцінка вчасного обслуговування ( $p_2 = p_{1all}$ )	
max	80	90	0,82	0,84
Min	20	23		
Середнє	55	62		
	Ймовірність успішного обслуговування сервісу у вузлі ( $\bar{z}_j = \sum_i \frac{N_{\Sigma}^i - z_j^i}{N_{\Sigma}^i} / 100$ )		Оцінка ймовірності успішного обслуговування у вузлі ( $p_3 = (\sum_{j=1}^M p_{2j}) / M$ )	
Max <sub>j</sub>	1	1	0,95	0.99
Min <sub>j</sub>	0,96	0.99		
Середнє	0,98	0.999		

	Ймовірність успішного обслуговування сервісу по системі ( $\overline{z_{all}} = \sum_i z_{all}^i / 100$ )		Оцінка ймовірності успішного обслуговування по системі ( $p_4 = p_{2all}$ )	
Max <sub>j</sub>	1	1	0,94	0.99
Min <sub>j</sub>	0,95	0.99		
середнє	0,975	0.999		
	Коефіцієнт використання ресурсів ГТС $\alpha$		Ймовірність використання ресурсу R1 і R2 з коефіцієнтом вик. обч. ресурсів менше заданого порогового значення ( $\overline{P_{3R_{1j}}}$ і $\overline{P_{3R_{2j}}}$ )	
(Max <sub>j</sub> $\overline{R_{1j}}$ )/ $V_{R2j}$	0.95	0.9	0.4 і 0,35	0,15 і 0,25
(Min <sub>j</sub> $\overline{R_{1j}}$ )/ $V_{R2j}$	0.15	0.25.	Ймовірність використання ресурсу R1 і R2 з коефіцієнтом вик. обч. ресурсів більше заданого порогового значення ( $\overline{P_{4R_{1j}}}$ , $\overline{P_{4R_{2j}}}$ )	
(Max <sub>j</sub> $\overline{R_{2j}}$ )/ $V_{R2j}$	1	0.85	0,2 і 0,15	0,05 і 0,1
(Min <sub>j</sub> $\overline{R_{2j}}$ )/ $V_{R2j}$	0.1	0.2	Оцінка коефіцієнту вик. обч. ресурсів, які використовуються у межах норми $p_5 = 1 - \frac{\sum_{g=1}^2 w_g p_{3Rgj}}{2} - \frac{\sum_{g=1}^2 w_g p_{4Rgj}}{2}$	
середнє	0.4	0.2	0.43	0.75

Із таблиці 2 видно, що такі показники якості обслуговування як середня затримка обслуговуванні сервісу у вузлі і в цілому по системі, ймовірність успішного обслуговування сервісу у вузлі та в цілому по системі були утримані у межах допустимих значень та набули незначного покращення. Однак коефіцієнт використання ресурсів при обслуговуванні відповідно до запропонованих моделей та методів утримується у заданих межах із імовірністю більшою в середньому на 32%.

## ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-технічну проблему, пов'язану з розробкою наукових основ організації взаємодії елементів ТКС та віртуального зовнішнього обчислювального середовища, які базуються на систематизації методів керування гібридними телекомунікаційними сервісами та процесом їх обслуговування у ГТС для гарантування якісного обслуговування кінцевих користувачів та контрольованого використання обчислювальних ресурсів обслуговування.

За підсумками вирішення проблеми можна зробити наступні висновки:

1. Проведений аналіз стану ТКС та вимог, які висуваються користувачами телекомунікаційних послуг, показав відсутність підходів, гнучких моделей та методів контролю процесу обслуговування у ГТС із віртуалізацією мережевих функцій, де якість обслуговування користувачів залежить не лише від організації телекомунікаційної мережі, але й від організації обчислень, а також взаємодії між телекомунікаційним середовищем і обчислювальним середовищем.

2. Запропоновано методологію керування процесом обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів у ГТС, яка дозволяє організувати процес керування як фізичними ресурсами, так і хмарними сервісами та утворити середовище, яке забезпечує задані показники якості обслуговування.

3. Запропонована методологія забезпечення показників якості обслуговування гібридного сервісу у ГТС базується на чотирьох основних підходах: формування навантаження на вузол обслуговування, вибір потужності вузла обслуговування, визначення порядку роботи вузлів обслуговування та поточний контроль роботи системи. Це дозволило забезпечити якісне функціонування гетерогенного середовища обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів, а саме: зменшити відсоток запитів, що обслуговуються в системі більше допустимого часу, визначеного експертами, - на 2%, зменшити відсоток запитів, які було втрачено через перевищення допустимого часу обслуговування на 3%, зменшити відсоток часу коли ресурси завантажені: менше за допустиме значення - на 8% та більше за допустиме значення на 10%.

4. Запропоновано модель керування інфраструктурою NFV, яка враховує особливості розташування дата центрів обслуговування, а також топологічної структури потоків гібридних телекомунікаційних сервісів, які поступають на обслуговування у дата центри, дозволяє забезпечити гнучке керування інформаційно-телекомунікаційною системою, організованою із застосуванням хмарних обчислень.

5. Розроблена архітектура локальної мережі оператора мобільного зв'язку дозволяє оцінити переваги та вузькі місця віртуалізації мережевих функцій, визначити особливості забезпечення показників якості обслуговування у ГТС.

6. Вдосконалено принцип керування телекомунікаційною системою, який на відміну від принципу програмно-керованих телекомунікаційних мереж розміщує у хмарному середовищі як всі функції керування службовим трафіком, так і процеси взаємодії між ними у відповідності до діючих стандартів; передаючи тільки результуючий керівний вплив на фізичні елементи, які здійснюють передавання інформаційних потоків. Всі підсистеми мобільного зв'язку є керованими із контролерів розташованих у дата центрі. Взаємодія між контролерами підсистем з метою керування відбувається лише в середині дата центру, що дозволить зменшити кількість службових потоків у телекомунікаційній мережі.

7. Запропоновано вперше математичну модель задачі формування вхідного потоку навантаження для використання ресурсів вузла обслуговування, яка

дозволить розрахувати верхню межу для планування інтенсивності вхідного навантаження із урахуванням бажаної допустимої затримки заявок у системі обслуговування та використовувати обчислювальні ресурси обслуговування у заданих межах. Обмеження навантаження відповідно до запропонованої моделі дозволило зменшити втрати гібридних ТК сервісів через перевищення черги на 5%.

8. Для вибору потужності обслуговуючого пристрою запропоновано вперше математичну модель, яка гарантує утримання процесу обслуговування на заданому рівні якості та вирізняється тим, що замість балансування навантаження між сталою кількістю обслуговуючих пристроїв враховує масштабованість віртуальних обчислювальних ресурсів вузлів обслуговування, мінімізуючи кількість цих пристроїв та втрати часу на балансування між обслуговуючими сутностями. Запропонована модель дозволяє розрахувати параметри системи обслуговування для будь якого вхідного потоку та забезпечити своєчасне надання сервісу.

9. Запропоновано принцип прогнозування необхідного віртуального ресурсу у хмарі для забезпечення роботи ГТС, який за рахунок використання даних системи моніторингу для розрахунку конфігурацій системи обслуговування та розкладу використання ресурсів з метою забезпечення показників якості, періодичного контролю достатності обраної конфігурації, забезпечить гнучкість та масштабованість системи керування процесом обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів у ГТС, а також використання віртуальних та фізичних обчислювальних ресурсів обслуговування у заданих межах.

10. Запропоновано вперше метод побудови розкладу залучення ресурсів на основі довгострокової статистики із забезпеченням показників якості обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів та використання ресурсів обслуговування у заданих межах, який за рахунок аналізу довгострокової статистики, ітераційної оцінки статистичних характеристик для інтервалів різної довжини, дозволяє сформувати розклад зміни конфігурації ресурсів обслуговування для вузла обслуговування у ГТС, та зменшити коефіцієнт простою ресурсів на 15%.

11. Вдосконалено авторегресійний метод із ковзковим математичним очікуванням, основна відмінність якого полягає у визначенні на основі довгострокової статистики інтервалу аналізу статистики, який забезпечує достовірність прогнозу із заданою ймовірністю, та мінімізує кількість точок аналізу, а відповідно й операцій при прогнозуванні у режимі реального часу, точність прогнозу, порівняно з фіксованим інтервалом аналізу, збільшилася на 3%, час розрахунку прогнозованого значення у режимі реального часу зменшився на 5%.

12. Запропоновано технологію керування ГТС, де обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів ведеться із застосуванням програмного забезпечення у багато хмарних дата центрах, технологія дозволила уникнути зниження якості обслуговування під час сплесків перевантаження та утримати

показники якості обслуговування на заданому рівні за умови дотримання коефіцієнта використання ресурсів у заданих межах.

13. Досліджено запропоновані модифікації компонентів підсистеми PCRF (Policy and Charging Rules Function), нові процедури організації їх взаємодії між собою та з підсистемами керування віртуалізованим середовищем для забезпечення контролю якості обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів, проведено імітаційне та математичне моделювання процесів керування сервісами у ГТС, що дозволило підтвердити можливість запобігти погіршенню показників QoS на рівні абонентського пристрою кінцевого користувача та зменшити кількість відмов за рахунок скорочення часу реагування підсистеми керування телекомунікаційною та хмарною частинами гетерогенного середовища.

14. Досліджено запропоновані архітектурні рішення щодо побудови телекомунікаційної мережі з віртуалізацією мережевих функцій та забезпеченням заданого рівня QoS, керуванням обчислювальними ресурсами ТКС, що показало доцільність проведення перерозподілу навантаження між групою фізичних та віртуальних вузлів обслуговування, покращення коефіцієнту використання обчислювальних ресурсів, а саме зменшення відсотку запитів, які було втрачено через перевищення допустимого часу обслуговування, а також зменшення відсотку часу низької завантаженості обчислювальних ресурсів.

15. Проведено математичне моделювання нових процедур та алгоритмів, зокрема алгоритму планування обсягу ресурсів ГТС, процедур організації взаємодії підсистем ТКС, керування віртуалізованим телекомунікаційним середовищем із забезпеченням заданого рівня QoS та плануванням обсягу необхідних обчислювальних ресурсів для роботи ГТС. Результати моделювання запропонованих технічних рішень показали збільшення ймовірності утримання коефіцієнту використання ресурсів обслуговування у заданих межах.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ДЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Монографія:**

1. Л.С. Глоба, О.М. Дяденко, А.Ю. Пилипенко, М.А. Скулиш. Математичні методи аналізу та керування телекомунікаційними мережами. К.: Інститут обдарованої дитини НАПН України. 2017. 234с.

### **Статті у виданнях іноземних держав або у фахових виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз**

2. Globa L., Slukysh M. Nodal routing with traffic classification. *Polish association for knowlage management Series: Studies&Proceedings*. Bydgoszcz, Polska. 2011. №42. Р. 37-46. (Польща). (Наукове фахове видання з технічних наук).

3. Globa L., Slukysh M. Calculation functions of SDN controller for wireless backhaul infrastructure. *Acta Electrotechnica et Informatica*. 2017. Volume 17. Number 4. pp. 14-18. (Словачія). (Наукове фахове видання з технічних наук).

4. Скулиш М. А., Суліма С. В. Гібридна система управління ресурсами для віртуалізованих мережевих функцій. *Радіоелектроніка, інформатика,*

управління, р-ISSN 1607-3274, Запоріжжя, 2017, № 1, С.16-24. (Наукове фахове видання України з технічних наук. Входить до міжнародних наукометричних баз: DOI, DOAJ, British Library, eLibrary.ru / РИНЦ, Google Scholar, Index Copernicus та ін.)

5. Скулиш М. А., Суліма С. В. Система управління ресурсами в центрах обробки даних оператора мережі мобільного зв'язку. *Visnyk NTUU KPI Seriia – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, ISSN: 2310-0397, e-ISSN: 2310-0389. 2017. Iss. 68. С. 27-32. (Наукове фахове видання України з технічних наук. Входить до міжнародних наукометричних баз: DOAJ, Google Scholar, WEB of Science, Index Copernicus, eLibrary.ru / РИНЦ та ін.)

6. Skulysh. M. Application of the "Endless train" method for the SDN controller OpenDayLight. *Visnyk NTUU KPI Seriia – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, ISSN: 2310-0397, e-ISSN: 2310-0389. 2017. Iss. 69. Р. 32-38. (Наукове фахове видання України з технічних наук. Входить до міжнародних наукометричних баз: DOAJ, Google Scholar, WEB of Science, Index Copernicus, eLibrary.ru / РИНЦ та ін.)

7. Скулиш. М.А. Заставенко А.А. Метод розподілу ресурсів сервера оператора мобільного зв'язку. *Visnyk NTUU KPI Seriia – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, ISSN: 2310-0397, e-ISSN: 2310-0389. 2015. № 60. С. 35-45. (Наукове фахове видання України з технічних наук. Входить до міжнародних наукометричних баз: DOAJ, Google Scholar, WEB of Science, Index Copernicus, eLibrary.ru / РИНЦ та ін.)

8. Skulysh M., Globa L. Planning the loading of data centers' resources based on download statistics. *Visnyk NTUU KPI Seriia – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, ISSN: 2310-0397, e-ISSN: 2310-0389. 2016. Iss 65. Р. 62-72. (Наукове фахове видання України з технічних наук. Входить до міжнародних наукометричних баз: DOAJ, Google Scholar, WEB of Science, Index Copernicus, eLibrary.ru / РИНЦ та ін.)

#### **Статті у наукових фахових виданнях:**

9. Скулиш М. А. Організація роботи групи серверів для забезпечення потреб розподіленої системи тарифікації послуг. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*. 2014. №5(33). С. 56-64.

10. Скулиш М. А. Метод складання розкладу залучення ресурсів для високонавантажених інформаційних систем. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*. 2014. №6(34). С.65-70.

11. Скулиш. М.А. Метод згладжування вхідного навантаження на сервер on-line тарифікації. *Вісник Національного технічного університету «Львівська політехніка» Радіоелектроніка та телекомунікації*. Львів. 2014. №796. С. 97-103

12. Скулиш. М.А. Методи контролю перевантаженнями в процесі багатетапної обробки заявок. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*. 2015. №1(35). С.81-86.

13. Скулиш М. А., Суліма С. В. Організація управління в багатетапних системах масового обслуговування. *Вісник Національного технічного*



університету «Львівська політехніка» *Радіoeлектроніка та телекомунікації*. Львів. 2015. № 818. С. 80–85.

14. Skulysh M., Klimovych O. Method of LTE functional units organization with evolved packet core virtualization. *Telecommunication Sciences*. 2015. No. 4. P. 38–45.

15. Skulysh M., Globa L., Sulima S. Model for Efficient Allocation of Network Functions in Hybrid Environment. *Telecommunication Sciences*. 2016. Volume 7. Number 1, P. 39-45.

16. Скулиш М.А., Заставенко А.А. Задача розподілу абонентського навантаження між базовими станціями з підтримкою SDR. Телекомунікаційні та інформаційні технології. 2016. №4, С. 42-49.

17. Скулиш М.А. Заставенко А.А. Метод контролю якості обробки інформаційних потоків у мережі 5G. *Вісник Національного технічного університету «Львівська політехніка» Радіoeлектроніка та телекомунікації*. Львів. 2016. №849. С.265-273.

18. Глоба Л.С., Вольвач Є. О., Скулиш М.А. Система керування якістю обслуговування у складних гетерогенних телекомунікаційних системах. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. Полтава: ПНТУ, 2017. Т. 6 (46). С. 158-162.

19. Скулиш М.А. Формування зони обслуговування прийомо-передавальної станції в залежності від змінного вхідного навантаження. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіoeлектроніка та телекомунікації*. Львів. 2017. № 885. С. 50-54.

20. Skulysh M., Sulima S. Hybrid resource provisioning system for telecommunication network. *Сучасні інформаційні системи*. Харків. 2018. Том 2, № 1. С. 47-51.

21. Скулиш М.А., Романов О.І., Глоба Л.С. Принцип обслуговування потоків у гетерогенному телекомунікаційному середовищі. *Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, Серія: Технічні науки*. 2018. Том 29 (68) № 2. С. 92-98.

22. Тимченко І.О., Скулиш М.А., Глоба Л.С. Концепції побудови сучасних мереж. *Радиоэлектроника и информатика = Radioelectronics & informatics : науч. журн. Харьк. нац. ун-т радиоэлектроники*. Харків: ХНТУРЕ. 2018. №1. С. 25-29.

23. Скулиш М.А., Романов О.І., Глоба Л.С. Принцип резервування ресурсів у віртуалізованому середовищі для контролю показників обслуговування. *Вісник Інженерної академії України*. 2018. С. 197-202

24. Шилов Ф., Скулиш М., Сафарян А. Дослідження ефективності методу оптимального вибору обчислювальних ресурсів для білінгових систем. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. Вип. 3. С. 147-152.

25. Скулиш М.А. Математична модель пошуку оптимального обсягу ресурсів віртуального телекомунікаційного вузла обслуговування. *Сучасні інформаційні системи*. Харків. 2018. Том 2, № 2. С. 30-34.

26. Скулиш М.А. Романов О.І., Нестеренко М.М. Принцип прогнозування необхідного віртуального ресурсу хмарної системи для оператора мобільного зв'язку. *Збірник наукових праць ВІПІ*. Київ. 2018. Вип. №2. С. 113 – 119.

Патенти України на корисну модель:

27. Скулиш М.А. Глоба Л.С. Ватула А.С, Марчук А.П. Система обробки мультисервісних інформаційних потоків. *Патент на корисну модель №85488*. Патент опубліковано 25.11.2013, бюл. № 22/2013.

28. Скулиш М.А. Глоба Л.С. Ватула А.С, Марчук А.П. Спосіб зваженого кругового обслуговування черг мультисервісних інформаційних потоків. *Патент на корисну модель №85487*. Патент опубліковано 25.11.2013, бюл. № 22/2013.

**Матеріали та тези наукових конференцій, які індексуються у Scopus:**

29. Globa L. S., Yermakova K. O., Kushnyr V. V., Skulysh M. A. Paralle computing usage for computation of the queues QoS parameters. *20th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology"*. 2010. P. 466-467 DOI: 10.1109/CRMICO.2010.5632345

30. Globa L. S., Skulysh M. A. Efficiency increase for the choice of the virtual connection direction. *20th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology"*. 2010. С. 502 - 503 DOI: 10.1109/CRMICO.2010.5632474

31. Globa L. S., Skulysh M. A. Improving efficiency service of queue in nodal centers. *21st International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology"*. 2011. P. 461-462.

32. Globa L. S., Skulysh M. A. Estimation scheme for improvement of weighted round robin algorithm for requests service in the queues. *22nd International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology"*. 2012. P.393 – 394.

33. Globa L. S., Skulysh M. A. Method of the analysis of power consumption dependence from service of a number of processes. *23rd International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology"*. 2013. С.432 – 433.

34. Globa L. S., Skulysh M. A., Reverchuk A.V. Method of increase of fault tolerance of mobile communication systems at the moments of peak load. *23rd International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology"*. 2013. С.533 – 534.

35. M.A. Skulysh. Method of increase of efficiency of assistance to the victims according to the integrated number 112. *23rd International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology"*. 2013. С. 545 – 546.

36. Globa L. S., Skulysh M. A., Reverchuk A.V. Control strategy of the input stream on the online charging system in peak load moments. *24th International Crimean Conference Microwave & Telecommunication Technology*. 2014. P. 312 – 313.

37. Globa L. S., Skulysh M. A., Pidgurska T., Reverchuk A. Managing of incoming stream applications in online charging system. *Telecommunications (BIHTEL), 2014 X International Symposium on*. IEEE. 2014. P. 1-6.

38. Skulysh M., Sulima S. Management of Multiple Stage Queuing Systems. *CADSM 2015 : 13-th International conference, 24–27 February 2015 : conference proceedings*. Lviv–Polyana. 2015. P. 431– 434.

39. Globa L. S., Skulysh M. A., Zastavenko A. The method of resources allocation for processing requests in online charging system. *Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM) 2015 : 13-th International conference, 24–27 February 2015 : conference proceedings*. Lviv–Polyana. 2015. P. 211-213.

40. Skulysh M., Klimovych O. Approach to virtualization of Evolved Packet Core Network Functions. *Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*, 2015 13th International Conference The. – IEEE, 2015. – pp. 193-195.

41. Skulysh M., Sulima S. Service deployment aspects in the systems with network function virtualization. *Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo), 2016 International Conference : conference proceedings*. IEEE, 2016. – pp. 1-7.

42. Globa L. S., Skulysh M. A., Sulima S. Method for resource allocation of virtualized network functions in hybrid environment. *2016 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking : conference proceedings*. 2016. P: 1 - 5, DOI: 10.1109/BlackSeaCom.2016.7901546.

43. Skulysh M. The Method of Computing Organization in High Loaded SDN Controller System. *Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM) 2017 : 13-th International conference, 24–27 February 2017 : conference proceedings*. Lviv–Polyana, 2017. P. 431– 434.

44. Skulysh M. The method of resources involvement scheduling based on the long-term statistics ensuring quality and performance parameters. *Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo) 2017 International Conference : conference proceedings*. 2017. P. 1-4.

45. Skulysh M., Sulima S., Sunduchkov K., Savchuk B. Sampling for direct search method of all system implementations developed according to the requirements of the technical design specification. *Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T) 4th International Scientific-Practical Conference : conference proceedings*. 2017 P: 83 – 86.

46. Skulysh M., Romanov O. The structure of a mobile provider network with network functions virtualization. *14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET) : conference proceedings*. 2018. P: 1032 – 1034.

#### **Матеріали та тези міжнародних наукових конференцій:**

47. Скулиш М. А. Суліма С. В. Організація управління в багатоетапних системах масового обслуговування. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2015 : зб. матеріалів доп. учасн. IX Міжнар. наук.-техн. конф. Київ. 2015. С. 319–321.*

48. Скулиш М. А., Суліма С. В. Управління ресурсами в віртуалізованих мережах оператора мобільного зв'язку. *Інфокомунікації – сучасність та*

*майбутнє* : V Міжнар. наук.- практ. Конф., 29-30 жовтня 2015 : матеріали конференції. Одеса, 2015. С.84–88.

49. Скулиш М. А., Суліма С. В. Алгоритм відображення та планування віртуалізованих функцій в мережі мобільного зв'язку. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2016* : 10-а міжнародна науково-технічна конференція, 19–22 квітня 2016 : матеріали конференції. — Київ, 2016. — сс. 372–374.

50. Skulysh M., Sulima S. Service deployment aspects in the systems with network function virtualization. *RadioElectronics&InfoCommunications* : First International Conference, 11–16 September 2016 : conference proceedings. — Kyiv, 2016. — P. 1–7.

51. Скулиш М.А., Заставенко А.А., Яндович І.Є. Оцінка залежності використання ресурсів від вхідного навантаження на сервері мобільного оператора. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2014* : 8-а міжнародна науково-технічна конференція, матеріали конференції. Київ, 2014 . С. 202–206.

52. Глоба Л.С., Скулиш М.А., Реверчук А.В. Схема згладжування вхідного навантаження на сервер мобільного оператора. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2014* : 8-а міжнародна науково-технічна конференція : матеріали конференції. — Київ, 2014 . — сс. 46-49.

53. Тимченко І.О., Скулиш М.А. Метод відновлення вузла у мережах NFV. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2017* : 11-а міжнародна науково-технічна конференція, 18–21 квітня 2017 : матеріали конференції. Київ, 2017 . С. 262–264.

54. Запорожец Д.Б., Скулиш М.А, Аналіз методів прогнозування з використанням нейронної мережі. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2018* : 10-а міжнародна науково-технічна конференція : матеріали конференції. Київ, 2018 . С. 266-268.

55. Скулиш М.А., Чиж В.В. Впровадження віртуалізації мережевих функцій на мережі платформи передачі SMS – повідомлень. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2018* : 10-а міжнародна науково-технічна конференція : матеріали конференції. Київ, 2018 . С. 272-275.

56. Белокур Б.В., Скулиш М.А, Планування ресурсів гетерогенного телекомунікаційного середовища на базі аналізу статистичних даних. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2018* : 10-а міжнародна науково-технічна конференція : матеріали конференції. Київ, 2018 . С. 279-281.

57. Скулиш М.А., Запорожец Д.Б. Сравнительный анализ методов краткосрочного прогнозирования сетевого трафика. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2018* : 10-а міжнародна науково-технічна конференція : матеріали конференції. Київ, 2018 . С. 310-312.

58. Скулиш М.А., Нездвезцький В.С. Аналіз засобів моделювання для мережевої СМО із динамічно змінюваними параметрами вузлів обслуговування. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2018* : 10-а міжнародна науково-технічна конференція, матеріали конференції. Київ, 2018. С. 310-312.

59. Скулиш М.А, Проблеми впровадження системи екстреної допомоги населенню за єдиним номером 112. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2013* : 7-а

міжнародна науково-технічна конференція : матеріали конференції. Київ. 2013 . С. 138-140.

60. Скулиш М.А., Глоба Л.С., Система комплексного керування інформаційними потоками в комутаційному центрі. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2013* : 7-а міжнародна науково-технічна конференція : матеріали конференції. Київ. 2013. С. 141-144.

61. Гайдаенко О.В., Скулиш М.А. Существующие основные подходы по методам оценки качества передачи речевой информации в сетях IP. *Електроніка-2013* : IV Міжнародна конференція молодих вчених : матеріали конференції. Київ. 2013. С. 302-305.

62. Марчук А.П., Скулиш М.А. Математична модель методу оптимізації обслуговування викликів у «Системі 112». *Електроніка-2013* : IV Міжнародна конференція молодих вчених : матеріали конференції. Київ. 2013. С. 302-305.

63. Скулиш М.А., Бабій О.С. Проблеми побудови наукових інформаційних порталів. *Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2011* : VII Международная молодежная научно-техническая конференция : матеріали конференції. г. Севастополь. 2011. С. 174-175.

64. Скулиш М.А., Марчук А.П. Метод оптимізації обслуговування викликів у «Системах-112». *Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2011* : IX Международная молодежная научно-техническая конференция : матеріали конференції. Севастополь. 2013 г. С. 98-99.

#### **Статті у інших виданнях.**

65. Глоба Л.С., Скулиш М.А. Керування трафіком в мультисервісному комутаційному центрі. *Telecommunication Sciences*. 2011. Т. 2. №1. С. 30-38.

66. Скулиш М.А., Суліма С.В. Метод управління ресурсами в датацентрах оператора мережі мобільного зв'язку. *Radioelectronics & Informatics Journal* (ISSN 1563-0064). Харьков. 2015. № 3. С. 8-13.

67. Скулиш М.А. Заставенко А.А. Пилипенко А.Ю. Метод выбора контейнера для миграции виртуальной машины в облачном хранилище данных. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління"*. 2016 р. Випуск 31. С.47-58.

68. Скулиш М. А. Метод організації функцій контролеру SDN «Нескінчений потяг». *Radioelectronics & Informatics Journal* (ISSN 1563-0064). Харьков. 2016. № 3. С. 21–28.

#### **АНОТАЦІЯ**

**Скулиш М. А. Моделі та методи керування обслуговуванням гібридних сервісів в телекомунікаційному середовищі з використанням хмарних ресурсів.** - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі. – Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського" Міністерства освіти і науки України, м. Київ, 2019.

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-технічну проблему, яка пов'язана з розробкою наукових основ організації взаємодії елементів телекомунікаційної системи та віртуального зовнішнього обчислювального середовища з метою підвищення якості обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів за рахунок адаптивного вибору обчислювальних ресурсів, систематизації та удосконалення методів керування потоками між обслуговуючими сутностями гетерогенного телекомунікаційного середовища для гарантування якісного обслуговування кінцевих користувачів та контрольованого використання обчислювальних ресурсів в умовах ускладнення структури сервісів, підвищення вимог до показників якості обслуговування та неперервного зростання об'ємів трафіку.

**Ключові слова:** віртуалізація мережевих функцій, ресурси віртуальних мережевих функцій, гібридний телекомунікаційний сервіс, гетерогенне телекомунікаційне середовище, QoS, програмно-керовані мережі.

## АННОТАЦИЯ

**Скулиш М. А. Модели и методы управления обслуживанием гибридных сервисов в телекоммуникационной среде с использованием облачных ресурсов.** - Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.02 - телекоммуникационные системы и сети. - Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского" Министерства образования и науки Украины, г. Киев, 2019.

Диссертационная работа посвящена проблематике, связанной с организацией взаимодействия элементов телекоммуникационной системы (ТКС) и виртуальной внешней вычислительной среды с целью повышения качества обслуживания гибридных телекоммуникационных сервисов за счет адаптивного выбора вычислительных ресурсов, систематизации и усовершенствования методов взаимодействия элементов обслуживающей гетерогенной телекоммуникационной среды (ГТС) для обеспечения качественного обслуживания конечных пользователей и контролируемого использования вычислительных ресурсов в условиях усложнённой структуры сервисов, повышение требований к показателям качества обслуживания и непрерывного роста объемов трафиков.

В диссертационной работе решена важная научно-техническая проблема, связанная с разработкой научных основ для организации взаимодействия элементов ТКС и виртуальной внешней вычислительной среды, основанная на систематизации и развитии методов управления гибридными телекоммуникационными сервисами, процессом их обслуживания в ГТС, удержание показатели качества на заданном уровне, уменьшение количества отказов за счет сокращения времени реагирования подсистемы управления телекоммуникационной и облачной частями гетерогенной среды.

Первый раздел работы содержит обзор литературных источников по теме диссертации, анализ современного состояния и тенденций развития, особенности

функционирования ГТС, определены факторы влияющие на показатели качества обслуживания при применении технологий виртуализации сетевых функций, исследованы особенности сетей мобильной связи, а также тенденции развития систем связи, структурные изменения в сервисах, предоставляемых конечным пользователям, эволюционные изменения в подсистемах обеспечения функционирования ТКС.

Во втором разделе были исследованы модели контроля качества обслуживания гибридных телекоммуникационных сервисов управления и показателей функционирования системы, которые влияют на качество обслуживания конечного пользователя. Выявлены особенности процедур обслуживания пользователей в мобильной сети, а также в подсистемах ГТС, проанализировано влияние виртуализации сетевых функций на процедуры обеспечения качества обслуживания конечных пользователей гибридных телекоммуникационных сервисов.

Третий раздел посвящен исследованию и совершенствованию подходов к построению архитектуры ГТС, организации процесса контроля качества обслуживания гибридных телекоммуникационных сервисов управления, определению показателей эффективности использования ресурсов в подсистемах ГТС, влияние виртуализации сетевых функций на процедуры обеспечения качества обслуживания конечных пользователей гибридными телекоммуникационными сервисами.

В четвертом разделе работы предложено принцип резервирования вычислительных ресурсов в виртуализированной гетерогенной среде для обслуживания чрезмерного потока нагрузки на элементы ГТС. Предложены новые математические модели задач определения максимально допустимого объема нагрузки на узел обслуживания, а также задачи выбора мощности вычислительных ресурсов обслуживающего устройства, модели обеспечивают удержание процесса обслуживания на заданном уровне качества.

В пятом разделе предложено принцип управления необходимыми объемами виртуального вычислительного ресурса в облаке на основе статистических данных (долгосрочных и краткосрочных). Разработан метод построения расписания привлечения вычислительных ресурсов для обслуживания гибридных телекоммуникационных сервисов с заданным уровнем QoS. Усовершенствован авторегрессионный метод со скользящим математическим ожиданием, что обеспечивает достоверность прогноза с заданной вероятностью и минимизирует количество точек анализа, а соответственно и операций при проверке достаточности вычислительных ресурсов в режиме реального времени для обслуживания текущей нагрузки в ТКС.

В шестом разделе исследованы предложенные модификации компонентов подсистемы PCRF (Policy and Charging Rules Function), новые процедуры организации их взаимодействия между собой и с подсистемами управления виртуализированной средой для обеспечения контроля качества обслуживания гибридных телекоммуникационных сервисов, проведено имитационное и

математическое моделирование процессов управления сервисами в ГТС. Исследованы предложенные архитектурные решения по построению телекоммуникационной сети с виртуализацией сетевых функций и обеспечением заданного уровня QoS, управление вычислительными ресурсами ТКС. Проведено математическое моделирование новых процедур и алгоритмов, в частности алгоритма планирования объема ресурсов ГТС, процедур организации взаимодействия подсистем ТКС, управления виртуализированных телекоммуникационной средой с обеспечением заданного уровня QoS и планированием объема необходимых вычислительных ресурсов для эффективной работы ГТС.

**Ключевые слова:** виртуализация сетевых функций, ресурсы виртуальных сетевых функций, гибридный телекоммуникационный сервис, гетерогенное телекоммуникационная среда, QoS, программно-управляемые сети.

### ABSTRACT

***Skulysh M.A. Models and methods for managing hybrid services in a telecommunications environment using cloud resources.*** - On the rights of the manuscript.

A thesis submitted in fulfilment of the Doctor of Engineering Science degree in technical sciences on specialty 05.12.02 - telecommunication systems and networks. – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" of Ministry for Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2019.

The thesis has solved an important scientific and technical problem related to the development of scientific bases for the interaction of elements of the telecommunication system and the virtual external computing environment in order to improve QoS of hybrid telecommunication services due to the adaptive choice of computing resources, systematization and improvement of flow management methods between service providers the entities of a heterogeneous telecommunication environment to guarantee quality service end users and controlled use of computing resources in the context of the complication of service structures, increased requirements for service quality indicators and continuous increase in traffic volumes. The methodology of management hybrid telecommunication services is offered,

**Key words:** network function virtualization, resources of virtual network functions, hybrid telecommunication service, heterogeneous telecommunication environment, QoS, software-defined networks.